



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ เทอร์โมพลาสติกวัสดุไนซ์จากการเบลนด์ยางไนไตรล์/
ยางธรรมชาติอิพอกไซด์/พอลิไพริเพลิน

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์และคณะ

มิถุนายน 2548

ສັນຍາເລກທີ RDG4850014

รายงานວິຈัยນັບສມນູຮັນ

ໂຄຮກການ ເກໂຮມພລາສຕິກວັດຄາໄນ້ຈາກການເບລນດໍຍາງໄນ້ໄຕຮ່າ໌/ ຍາງຮຽມໜາຕີອີພອກໄຊດໍ/ພອລິໂພຣີໄພລິນ

ຄະນະຜູ້ວິຈัย

ສັງກັດ

- ຮອງສາສຕຣາຈາກຍໍ ດຣ. ເຈົ້າ ນາຄະສරຣັກ ມາວິທາລີຍສົງຫລານຄຣິນທີ່
- ນາງສາວເກຍຮາ ພລທອງ ມາວິທາລີຍສົງຫລານຄຣິນທີ່
- ຜູ້ໜ້າວຍສາສຕຣາຈາກຍໍ ອາຈື້ອັນ ແກສມານ ມາວິທາລີຍສົງຫລານຄຣິນທີ່

ຊື່ໂຄຮກການ ວິຈີຍແໜ່ງໜາຕີຍາງພາຣາ (SPR)

ສັນນັບສຸນໂດຍສໍານັກງານກອງທຸນສັນນັບສຸນການວິຈີຍ (ສກວ.)

(ຄວາມເຫັນໃນรายงานນັບນີ້ແມ່ນຂອງຜູ້ວິຈີຍ ສກວ. ໄນຈໍາເປັນຕົ້ນເຫັນດ້ວຍເສມອໄປ)

เทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบลนด์ยางไนไตรล์/ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์/พอลิไพริเพลิน

บทคัดย่อ

เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบลนด์ยางไนไตรล์กับพอลิไพริเพลิน และยางธรรมชาติอิพอกไซด์กับพอลิไพริเพลิน โดยทำการแปรชิโนดและปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ 3 ชนิด คือ พนอลิก เรซิน(SP-1045), กราฟต์โคโพลิเมอร์ของพอลิไพริเพลินกับฟินอลิก เรซิน (Phenolic modified polypropylene, Ph-PP) และ กราฟต์โคโพลิเมอร์ของพอลิไพริเพลินกับมาลิอิกแอนไฮไดรด์ (Graft copolymer of maleic anhydride and polypropylene, PP-g-MA) ในปริมาณ 0, 1, 3, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นของน้ำหนักของ PP พบว่า Ph-PP ที่ปริมาณ 5 % โดยน้ำหนักของ PP หมายความว่าใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเตรียม TPVs ต่อไป กล่าวคือ มีสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และค่าความสามารถในการคืนตัว (Tension set) ดี หลังจากนั้นเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบลนด์ NBR/ENR/PP โดยแปรอัตราส่วนการเบลนด์ของยาง/พลาสติกเป็น 60/0/40, 50/10/40, 40/20/40, 30/30/40, 20/40/40, 10/50/40 และ 0/60/40 พบว่า TPVs ที่เตรียมจากการเบลนด์ที่อัตราส่วน 20/40/40 และ 10/50/40 ให้สมบัติเชิงกล สัมฐานวิทยา และมีความต้านทานต่อตัวทำลายดี จึงเลือกอัตราส่วนดังกล่าวมาแปรปริมาณหมู่อิพอกไซด์ พบว่า TPVs ที่ใช้ ENR-20 ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด หลังจากนั้นศึกษาการเตรียม TPVs โดยกระบวนการวัลค่าไนซ์ พบว่าการใช้กำมะถันจะให้ความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืด และค่าความสามารถในการคืนตัวดีที่สุด ในขณะที่การใช้ระบบผสมจะให้ความเคี้นเนื่อง และความหนืดเฉือนสูงที่สุด ส่วนระบบเปอร์ออกไซด์ จะให้ความต้านทานต่อความร้อนดีที่สุด และระบบฟินอลิกมีความต้านทานต่อตัวทำลายดีที่สุด

Thermoplastic Vulcanizates Based on Nitrile Rubber/ Epoxidized Natural Rubber/Polypropylene blends

Abstract

TPVs based on NBR/PP and ENR/PP blends were prepared using various types and quantities of compatibilizers (i.e., phenolic resin (SP-1045), phenolic modified polypropylene (Ph-PP) and maleic modified polypropylene (PP-g-MA)). Various loading levels of compatibilizer were studied at 0, 1, 3, 5, 10 and 15 wt% of PP. It was found that the Ph-PP at 5 wt% provided the best mechanical properties in terms of tensile strength, elongation at break and tension set. TPVs based on NBR/ENR/PP were later prepared using various blend ratios of NBR/ENR/PP at 60/0/40, 50/10/40, 40/20/40, 30/30/40, 20/40/40, 10/50/40 and 0/60/40. It was found that the TPVs prepared from the blend ratios of 20/40/40 and 10/50/40 exhibited better mechanical, morphological properties and solvent resistance than those of other blend ratios. Consequently, the blend ratios of NBR/ENR/PP = 20/40/40 and 10/50/40 were chosen for preparation of TPVs using ENRs with various epoxide levels. We found that the ENR-20 gave the best mechanical properties. Various vulcanization systems: sulphur system, peroxide system, mixed system (i.e., a mixture of sulphur and peroxide systems) and phenolic system were studied. We found that the sulphur system provided the best mechanical properties such as tensile strength, elongation at break and tension set. However, peroxide and phenolic systems gave the best thermal resistance and solvent resistance, respectively. The mixed vulcanization system provided the TPVs with the highest shear stress and shear viscosity at a given shear rate.

สารบัญ

บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
หน้าสูปโครงการ	1
เนื้อหางานวิจัย	7
1. การทดลอง	7
1.1 ยางและสารเคมี	7
1.2 อุปกรณ์	10
1.3 วิธีการทดลอง	17
2. ผลการทดลองและวิจารณ์	29
2.1 การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์	29
2.2 การศึกษาสูตรยางที่เหมาะสมที่จะใช้เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์	31
2.3 การศึกษานิคและปริมาณของสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบلنด์ NBR/PP และ ENR/PP	36
2.4 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบلنด์ NBR/ENR/PP ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์	39
2.5 ศึกษาอิทธิพลนิคของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ที่เตรียมจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP	50
2.6 การศึกษาอิทธิพลระบบการวัลค่าไนซ์ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบلنด์ NBR/ENR/PP	59
3. สรุปผลการทดลอง	73
4. ข้อเสนอแนะการต่อยอดหรือประยุกต์ที่จะนำไปใช้	76
4. เอกสารอ้างอิง	76
5. ภาคผนวก 1. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์	79
6. ภาคผนวก 2: บทความสำหรับการเผยแพร่	81

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

① ชื่อโครงการ เทอร์โนมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบลนด์ยางไนไตรล์/ยางธรรมชาติ อิพอกไซด์/พอลิไพรไฟลีน

Thermoplastic Vulcanizate Based on Nitrile rubber/Epoxidized Natural Rubber/Polypropylene Blends

คำสำคัญ เทอร์โนมพลาสติกวัลค่าไนซ์ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ยางไนไตรล์ พอลิไพรไฟลีน

Keywords Thermoplastic vulcanizate (TPV); epoxidized natural rubber (ENR);
Nitrile rubber; polypropylene

② ชื่อหัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง
จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073 313930-50 ต่อ 1866

โทรสาร 073 331099

E-mail ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th

③ ชื่อนักศึกษา นางสาวเกญรดา พลทอง

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง
จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073 313930-50 ต่อ 1861

โทรสาร 073 331099

E-mail s4445003@pn.psu.ac.th

④ ชื่อและสถานที่ติดต่อของผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานของหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล พศ.อาชีชัน แกสมาน (หัวหน้าภาควิชาฯ)

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง
จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073 313930-50 ต่อ 1860
โทรสาร 0 73 331099
E-mail kazizon@bunga.pn.psu.ac.th

- ⑤ ได้เสนอโครงการนี้ หรือโครงการที่มีส่วนเหมือนกับเรื่องนี้บ้าง แล้วได้รับอนุมัติ
 ไม่ได้เสนอต่อแหล่งทุนอื่น

๖

- ๗ ระยะเวลาดำเนินการ ๖ เดือน

- ๘ ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดในโลก ซึ่งสามารถส่งออกยางชนิดต่างๆ ค่าปีละหลายหมื่นล้านบาท แต่การส่งออกของไทยยังเน้นการส่งออกยางดิบในรูปของยาง แผ่นร่มครัว ยางแผ่นพื้นห้อง ยางห่อหงาย น้ำยางข้นและยางดิบในรูปแบบอื่นๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้องผลักดันงานวิจัยเพื่อเพิ่มขอบเขตการใช้งานและเพิ่มนูกลักษณะของยางพาราโดยวิธีการต่างๆ การพัฒนายางชนิดใหม่จากยางธรรมชาติให้มีสมบัติทางประการเด่นเป็นแนวทางหนึ่งในการส่งเสริมการใช้ยางธรรมชาติ และการเพิ่มนูกลักษณะ เทคโนโลยีที่มีการพัฒนากันมากในขณะนี้ คือการเตรียมเทอร์โนพลาสติกอีลัสโตร์ (Thermoplastic elastomer, TPE) จากการเบลนด์ยางกับเทอร์โนพลาสติกโดยผ่านกระบวนการวัลค์ไนซ์ (Dynamic vulcanization) ซึ่งเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเทอร์โนพลาสติกวัลค์ไนซ์ (Thermoplastic vulcanizate, TPV) ซึ่งมีสมบัติเป็นยางที่สามารถใช้งาน นอกจากนี้การเตรียม TPV มีลักษณะเด่นเหนือกระบวนการแปรรูปยางเดิมหลายประการ เช่น ไม่จำเป็นต้องทำการคอมปาร์คก่อนการเข็นรูป สามารถแปรรูปรูปด้วยกระบวนการแปรรูปเทอร์โนพลาสติกซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นกว่าและต้นทุนถูกกว่า เนื่องจากการแปรรูปสามารถนำมารีไซเคิลได้ นอกจากนี้สามารถใช้คุณสมบัติเด่นของเทอร์โนพลาสติกชนิดต่างๆ มาเป็นสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางได้

ในปัจจุบันการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นเน้นการใช้ยางสังเคราะห์ เช่น ยางเอทีดีน โพร์ไพลีน (Ethylene propylene rubber, EPR) ยางอีพีดีเอ็ม (Ethylene propylene diene rubber) และ ยางไนโตรล (Acrylonitrile butadiene rubber, NBR) เป็นต้น การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นยางธรรมชาติ [เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติ (Thermoplastic natural rubber, TPNR)] สามารถเตรียมได้โดยการผสมยางธรรมชาติกับเทอร์โมพลาสติกชนิดต่าง ๆ เช่น พอลิโพร์ไพลีน (Polypropylene, PP) พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) พอลิไวนิลคลอไรด์ [Poly(vinyl chloride), PVC] และพอลิเอทิลีน เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการวัลค่าในเชิงแบบไดนามิกซ์ ได้รับคุณภาพเป็นยางที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิการใช้งาน และสามารถแปรรูปได้ด้วยกระบวนการแปรรูปเทอร์โมพลาสติก

ในอุตสาหกรรมการผลิตเทอร์โมพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์ ต้องคำนึงถึงความร้อน และมี strength สูง ส่วนใหญ่จะเตรียมจากเตรียมจากการเบลนด์ NBR/PP หรือ NBR/PVC ตัวอย่างเช่น TPV จากการเบลนด์ NBR/PP ซึ่งมีชื่อทางการค้า Geolast (Santoprene) ซึ่งได้สมบัติการทนน้ำมัน จาก NBR และการมี strength สูงเนื่องจากการนี้ PP เป็นองค์ประกอบ มีการประยุกต์ใช้งานเป็นชิ้นส่วนในรถยนต์ สำหรับงานในส่วนที่ต้องการ strength การทนความร้อน และการทนน้ำมัน

ในงานวิจัยนี้จะใช้ยางธรรมชาติซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย นำมาทำการคัดแปลงโมเลกุลเป็นยางธรรมชาติอิพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber, ENR) ที่มีอนุอิพอกไซด์ระดับต่างๆ โดยปฏิกริยาอิพอกไซด์ชั้น เด็กนำมาเบลนด์กับระบบการเบลนด์ NBR/PP โดยการทดลองใช้ยาง ENR ทดแทนการใช้ยาง NBR ในปริมาณต่างๆ จึงเป็นการเบลนด์แบบ 3 องค์ประกอบ (Ternary blends) กล่าวคือ NBR/ENR/PP ทำให้สามารถใช้สมบัติเด่นของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ในด้านความต้านทานต่อน้ำมัน (Oil resistance) ซึ่งเป็นผลมาจากการมีอนุอิพอกไซด์ในโมเลกุลเช่นเดียวกับยาง NBR หลังจากนั้นศึกษาระบบการวัลค่าในเชิงที่เหมาะสม แล้วทดสอบสมบัติการให้ผล สมบัติเชิงกล และสัมฐานวิทยา เปรียบเทียบกับการเตรียม TPV จากการเบลนด์ NBR/PP และ ENR/PP ซึ่งจะได้ข้อมูลพื้นฐานในการใช้ยาง ENR ทดแทนยาง NBR เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและเพิ่มน้ำหนักค่าให้แก่ยางธรรมชาติต่อไป

การเตรียมเทอร์โมวัลค่าในชั้นนิกานน้ำมันและสมบัติเชิงกลจากการเบลนด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ สามารถเตรียมโดยการทำการ ENR เบลนด์กับพอลิไพลีน โดยผ่านกระบวนการวัลค่าในเชิงแบบไดนามิกซ์ (มานพ และ กัมลาวัลย์, 2545) พบว่าได้ TPVs ที่มีสมบัติเชิงกล ความสามารถในการต่อต้านต่อน้ำมันดี นอกจากนี้พบว่าการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ เช่น PP-g-MA และ phenolic resin จะทำให้ได้ TPVs ที่มีสมบัติเชิงกลเด่นกว่าเดิม นอกจากนี้ยังสามารถเตรียม TPVs ในกลุ่มนี้โดยการเบลนด์ ENR/PVC (Ishiaiku, et. al., 2000 และ Perera, et. al., 2001) จากเบลนด์ NBR/PP โดยการวัลค่าในเชิงแบบไดนามิกซ์ (Zhang et al., 2001) โดยใช้ PP ทำกราฟต์กับพอลิเมอไรเซชันกับ glycidyl methacrylate (GMA) เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้

(compatibilizer) พบว่าการใช้สารเพิ่มความเข้ากัน ได้จะทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น และสามารถนำกลับมาประรูปใหม่ได้ดี (George et. al., 1995) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของ TPVs ที่ได้เตรียมจากการเบلنด์ NBR/PP โดยประอัตราส่วนในการเบلنด์และปริมาณ compatibilizer พบว่าความหนืดของวัสดุเพิ่มขึ้นตามปริมาณ PP ส่วนลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าเพสหางกระจาดคัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กในเพสของ PP ที่เป็นเฟสต่อเนื่อง และขนาดของอนุภาคจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยาง สมบัติเชิงกลจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณยาง NBR ต่ำมา George et al., (1997) ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนในการเบلنด์ ปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ และ สมบัติพลวัติเชิงกลของการเบلنด์ NBR/PP พบว่า มีค่า T_g 2 ค่า สามพันธ์กับค่า T_g ของ PP และ NBR เมื่อเพิ่มปริมาณของยางทำให้ค่าโมดูลัสสั่งสมลดลง ในขณะที่โมดูลัสสูญเสีย และ $\tan \delta$ มีค่าเพิ่มขึ้น

9 วัตถุประสงค์

- เพื่อเตรียมและศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีระดับหมู่อิพอกไซด์ปริมาณต่างๆ
- เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเบلنด์ยาง ENR ในการเบلنด์ NBR/ENR/PP
- เพื่อหาแนวทางในการเตรียม TPV จากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่มีความด้านทานต่อน้ำมัน ทนความร้อน และมี strength ใกล้เคียง TPV จากการเบلنด์ NBR/PP
- ศึกษาระบบการทำไนมิกส์วัลค่าในเชชันที่เหมาะสมกับระบบการเบلنด์
- เพื่อศึกษาสมบัติการไหล สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาของ TPV ที่เตรียมได้

10 ทางเลือกและแนวทางแก้ปัญหา

ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในช้าจากยางธรรมชาติ โดยการเสริมความสามารถในการทานทานต่อน้ำมัน การเสื่อมเนื่องจากความร้อน และมี strength เนื่องจากสมบัติของ PP ใช้ยาง ENR และ NBR ที่มีสมบัติเด่นด้านความด้านทานต่อน้ำมัน เนื่องจากสภาวะความเป็นข้าวของยาง ENR และยาง NBR โดยทำการเตรียม TPV จากการเบلنด์ NBR/ENR/PP โดยใช้ระบบไนมิกส์วัลค่าในเชชันที่เหมาะสม หาอัตราส่วนการเบلنด์ที่เหมาะสม โดยทำการทดลองในเครื่องผสมแบบปีกขนาดเล็ก แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อการประเมินคุณลักษณะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบที่เหมาะสมกับสมบัติต่อไป

11. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในว่าจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่มีสมบัติเหมาะสมที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้

2. ทราบระบบการทำไวนามิกวัลค่าในเชิงน้ำที่เหมาะสม
3. ทราบสมบัติการไหล สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา ของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชีทที่ เตรียมได้
4. เป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณการใช้งานและมูลค่าของยางธรรมชาติ

12. แนวในการดำเนินงาน

1. เตรียมยางอิพอกซี่ไดซ์ด้วยเทคนิคเบอร์ฟอร์มิกอิพอกซี่เดชัน (Nakason, et al, 2003)
2. เตรียม TPV จากการเบلنด์ NBR/PP และ ENR/PP โดยใช้อัตราส่วน 60/40 (เพื่อใช้เปรียบเทียบสมบัติ)
3. เตรียม TPVs จากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ในอัตราส่วน 50/10/40, 40/20/40, 30/30/40, 20/40/40, 10/50/40 โดยใช้ยาง ENR ที่มีหน่ออิพอกซี่ชีด 20 ไมล์เปอร์เซ็นต์ (ENR-20) เตรียม TPVs โดยการทำวัลค่าในเชิงแบบไวนามิกส์ ในเครื่องผสมบรูเบนเดอร์ พลาสติคอร์เดอร์ โดยผสมที่อุณหภูมิ 160 °C ความเร็วโรเตอร์ 50-60 rpm ใช้ระบบวัลค่าในเชิงแบบใช้กำมะถัน
4. หลังจากได้อัตราส่วนการเบلنด์ที่เหมาะสมจากข้อที่ 3 ใช้ยาง ENR-30 และ ENR-40 เตรียม TPVs โดยใช้อัตราส่วนการเบلنด์ที่เหมาะสม
5. ทำการศึกษาผลของระบบการวัลค่าในเชิงน้ำที่สมบัติของ TPVs โดยทดลองใช้วัลค่าในเชิงน้ำที่ชุดการเบلنด์ที่อัตราส่วนเหมาะสม โดยใช้ระบบเบอร์ออกไซด์ และระบบฟีโนลิก
6. วิเคราะห์สมบัติต่างๆดังนี้
 - 6.1 สมบัติด้านความต้านทานต่อการยึด โดยการขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยเครื่องนีด พลาสติกแล้วทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412 (2000) โดยใช้เครื่อง Hounsfield รุ่น H 10KS
 - 6.2 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกล้อง SEM Model Leo-1450
 - 6.3 วิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนด้วยเครื่อง DMA7
 - 6.4 ความต้านทานต่อการเสื่อมเนื่องจากความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D454 (2000)
 - 6.5 ความต้านทานต่อตัวทำละลาย (solvent resistance) ตามมาตรฐาน ASTM D471 (2000)

13. ผลการทดลองโดยย่อ

ได้ทำการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีระดับหมู่อิพอกไซด์ 20, 30 และ 40 โนล % อิพอกไซด์ หลังจากนั้นนำคอมปาวด์โดยใช้สูตรต่างๆ กันๆ คือ CBS, MBTS, TMTD, MBT และ TBBS เพื่อศึกษาสมบัติการวัลภาไนซ์ (Cure properties) และสมบัติเชิงกล เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลภาไนซ์ นอกจากนี้ได้ใช้สูตรเดียวกันในการศึกษาสมบัติการวัลภาไนซ์และสมบัติเชิงกลของยางในไตรล์ เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมทำ การเตรียมสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเบลนด์ 2 ชนิด คือ พอลิโพรไพลีนที่คัดแปลงโมเลกุลคั่วย์ฟินอลิก (Ph-PP) และพอลิโพรไพลีนที่กราฟต์ด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรค์ (PP-g-MA) แล้วทดลองใช้ในการเตรียม TPVs จากการเบลนด์ NBR/PP และ ENR-20/PP พบว่าสารเพิ่มความเข้ากันได้ทำให้สมบัติเชิงกลของ TPVs ดีขึ้น และปริมาณการใช้ที่ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด คือ ที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน

หลังจากนั้นทำการเตรียม TPVs จากการเบลนด์ NBR/ENR-20/PP โดยใช้ Ph-PP และ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ และประอัตราส่วนต่างๆ ของ NBR/ENR-20/PP เป็น 60/0/40, 50/10/40, 40/20/40, 30/30/40, 20/40/40, 10/50/40, 0/60/40 พบว่าการใช้ Ph-PP จะให้ TPVs ที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าการใช้ PP-g-MA และความด้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยึดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติอิพอกไซด์ส่วนอุณหภูมิการสลายตัวและความสามารถในการทนทานต่อตัวทำละลายมีแนวโน้มลดลง ค่าความสามารถในการคืนตัว (Tension set) มีค่าต่ำกว่า 50% แสดงว่า TPVs ที่ได้มีสมบัติเป็นอิเลสโตรเมอร์ที่ดี

หลังจากนั้นเลือกอัตราส่วนการเบลนด์ที่ให้สมบัติโดยรวมดี คือ NBR/ENR/PP = 20/40/40 และ 10/50/40 มาทำการเตรียม TPVs โดยประชุมด้วย ENR เป็น ENR-20, ENR-30 และ ENR-40 โดยการใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่าความด้านทานต่อแรงดึงความสามารถในการยึดมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณหมู่อิพอกไซด์ ส่วนขนาดอนุภาคยางที่กระจายตัวในเฟส PP ความด้านทานต่อตัวทำละลาย ความเกินเดือนและความหนาเฉือนที่อัตราเฉือนเท่ากันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปว่ายาง ENR-20 จะให้สมบัติโดยรวมของ TPVs ดีที่สุด จึงนำยางชนิดนี้ไปประนีบการวัลภาไนซ์ โดยใช้อัตราส่วนการเบลนด์ของ NBR/ENR-20/PP ที่ 20/40/40 และ 10/50/40 ประนีบการวัลภาไนซ์เป็นระบบกำมะถัน ระบบเปอร์อ็อกไซด์ ระบบผสมระหว่างกำมะถันกับเปอร์อ็อกไซด์ และระบบฟินอลิก พบว่าระบบกำมะถันจะให้ความด้านทานต่อแรงดึงความสามารถในการยึดสูงที่สุด และให้ค่าความสามารถในการคืนตัวดีที่สุด ระบบเปอร์อ็อกไซด์จะให้ความทนทานต่อความร้อนดีที่สุด ส่วนระบบฟินอลิกให้ความสามารถในการทนทานต่อตัวทำละลายดีที่สุด

เนื้อหางานวิจัย

1. การทดลอง

1.1. ยางและสารเคมี

1. ยางไนไตรอล (Acrylonitrile butadiene rubber, NBR)

มีชื่อทางการค้าว่า NANCAR 3645 มีหมุ่งคิวโลไนไตรอล 36 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความหนืดมูนนี่ 45 ML(1+4),100°C ใช้สำหรับเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลภาไนซ์ (TPV) ผลิตโดยบริษัท Nantex Industry Co., Ltd. ประเทศไทย

2. พอลิโพร์ไพลีน (Polypropylene, PP)

เกรด P 700J ลักษณะเป็นเม็ดสีขาว มีอุณหภูมิหลอมตัวประมาณ 165 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 0.91 g/cm³ ดัชนีการไหล 12 กรัม/10 นาที ความต้านทานต่อแรงดึงขาด 250 kg/cm² ความยืดที่จุดขาด >500% ความแข็ง 105 R scales ผลิตโดยบริษัทไทยพอลิโพร์ไพลีน จำกัด ประเทศไทย

3. น้ำยางขั้นนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia (HA) Concentrated Latex)

ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ มีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) ประมาณ 60 % ผลิตโดยบริษัท ยะลาลาเท็กซ์ จำกัด ประเทศไทย

4. เทอร์ริก เอ็น 30 (Teric N30)

เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทอนอิโอนิก (non-ionic surfactant) จัดอยู่ในกลุ่มนonylphenol ethoxylate มี pH ประมาณ 6-8 ค่า Hydrogen Value เท่ากับ 33 mg KOH/g ผลิตโดยบริษัท Huntsman จำกัด ประเทศไทยอสเตรเลีย

5. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) เข้มข้น 50 %

ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ มีสูตรโมเลกุลคือ H₂O₂ ผลิตโดยบริษัท Ried de Haen ประเทศไทยเยอร์มัน

6. กรดฟอร์มิก (Formic acid) เข้มข้น 94 %

ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ มีสูตรโมเลกุลคือ HCOOH น้ำหนักโมเลกุล 46.03 กรัมต่ำโมล ผลิตโดยบริษัท Ried de Haen ประเทศไทยเยอร์มัน

7. เมทานอล

ใช้สำหรับจับตัวน้ำยางหลังจากทำปฏิกิริยาอิพอกไซเดชัน มีสูตรโมเลกุลคือ CH₃OH น้ำหนักโมเลกุล 32.04 กรัมต่ำโมล ช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 64-65 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท J.T Baker ประเทศไทยสหราชอาณาจักร

8. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)

ใช้เป็นตัวทำละลายของธรรมชาติอิพอกไซด์ เพื่อวิเคราะห์สมบัติด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี มีสูตรโมเลกุลคือ CHCl_3 น้ำหนักโมเลกุล 119.38 กรัมต่้อมล เป็นเกรดวิเคราะห์ (AR-grade) จุดเดือด 145 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท J.T Baker ประเทศสหราชอาณาจักร

9. วิงสเตอร์ แอล (Wingstay L)

ชื่อทางเคมีคือ Polymeric sterically hindered phenol เป็นสารแอนติออกซิเดนท์ที่เป็นอนุพันธ์ของฟีโนอล ผลิตโดยบริษัท Shuguang Chemical General Co.,Ltd. ประเทศจีน

10. กรดสเตียริก (Stearic acid)

มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขุ่น ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ ผลิตโดยบริษัท Imperial Chemical Co., Ltd. ประเทศไทย

11. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)

มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ ผลิตโดยบริษัท Global Chemical Co., Ltd. ประเทศไทย

12. เบนโซไซโทอะร์ซิล ซัลฟีนไนมด์ (N-tert-butyl-2-benzothazylsulphenamide, TBBS)

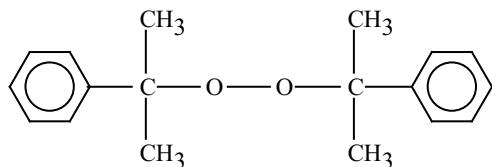
มีลักษณะเป็นเม็ดสีครีม ใช้เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ จุดหลอมเหลว 105 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. ประเทศเยอรมัน

13. กำมะถัน (Sulphur)

มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง สูตรโมเลกุลคือ S8 ใช้เป็นสารวัลภาไนซ์ ผลิตโดยบริษัท Ajex Chemical Co., Ltd. ประเทศไทย

14. ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP)

สูตรโครงสร้าง



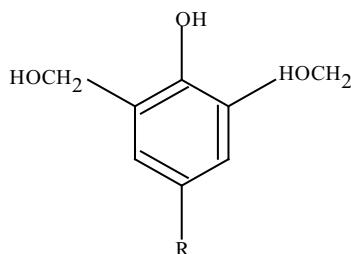
มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว เป็นของromaติกเปอร์ออกไซด์ ใช้เป็นสารวัลภาไนซ์ ผลิตโดยบริษัท Wuzhou International Co., Ltd. ประเทศไทย

15. ไตรอัลลิล ไซยาโนเรต (Triallyl cyanurate, TAC)

มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีสูตรโมเลกุลคือ $\text{C}_{12}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_3$ ใช้เป็นสารกระตุ้นร่วมในการวัลภาไนซ์ร่วมกับเบอร์ออกไซด์ มีจุดหลอมตัว 26-28 องศาเซลเซียส น้ำหนักโมเลกุล 249.27 ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

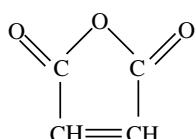
16. ฟินอลิก เรซิน (Phenolic resin, SP-1045)

มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง เป็นไคเมทิลอล ฟินอลิกเรซิน (dimethylol-phenolic compound) มีหมุ่มทิลอลอยู่ในช่วง 8-11 % มีความถ่วงจำพาย 1.4 ใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารเพิ่มความเข้ากันได้ ผลิตโดยบริษัท Schenectady International, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา มีสูตรโครงสร้างคือ



17. มาลิอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride, C₄H₂O₃)

มีสูตรโครงสร้างคือ



เป็นเกรดวิเคราะห์ (AR-grade) มีความบริสุทธิ์ 98.0 % ลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขุ่น จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 52-54°C ผลิตโดยบริษัท Fluka chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

18. อะซีโตน (Acetone, C₃H₆O)

เป็นเกรดวิเคราะห์ (AR-grade) มีความบริสุทธิ์ 99.5 % มีจุดเดือดเท่ากับ 56.1 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท Lab Scan Asia Co., Ltd. ประเทศสาธารณรัฐอิหร่าน ใช้ในการเตรียมสารเพิ่มความเข้ากันได้

19. ทูลูอีน (Toluene, C₇H₈)

ใช้ผสมกับไอโซออกเทนสำหรับทดสอบความทนทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โน่พลาสติกอิเล็กต์โรเมอร์ จุดเดือดเท่ากับ 111.0 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท Lab Scan Asia Co., Ltd. ประเทศสาธารณรัฐอิหร่าน

20. ไอโซออกเทน (Isooctane)

ใช้ในการทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย ผลิตโดยบริษัท Lab Scan Asia Co., Ltd. ประเทศสาธารณรัฐอิหร่าน

21. น้ำมันเบนซิน (Gasoline)

เป็นน้ำมันเบนซิน มีค่าอوكเทนเท่ากับ 91 สำหรับทดสอบความทนทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โน่พลาสติกอิเล็กต์โรเมอร์ ผลิตโดยบริษัท ปีโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน)

22. น้ำมันเครื่อง (Engine oil)

เป็นน้ำมันเครื่องสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ เกรด API ยี่ห้อชอนค้า ใช้สำหรับทดสอบ ความทนทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โนมพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์ ผลิตโดยบริษัท น้ำมันอพอลโลล (ประเทศไทย) จำกัด

23. ไชลีน (Xylene, C₆H₄(CH₃)₂)

ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดเฟสของพลาสติก ผลิตโดยบริษัท Lab Scan Asia Co., Ltd. ประเทศไทย สารณวัช ไอล์แลนด์

1.2 อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์ที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ แสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยภาชนะอะลูминียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51.30 เซนติเมตร สูง 28.50 เซนติเมตร ใช้สำหรับใส่น้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ภาชนะแก้วมีความจุประมาณ 10 ลิตร พร้อมฝาปิดเจาะรูตรงกลางสำหรับใส่ใบพัด กวน และเจาะรูด้านข้างสำหรับใส่สารเคมี อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาจะควบคุมโดยเครื่อง Immersion circulator ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีใบพัดสำหรับกวนของผสมโดยใช้ชุด Mechanical stirrer ความเร็วในการหมุนใบพัดกวนประมาณ 150 รอบต่อนาที



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์

2. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

เป็นเครื่องรุ่น Omnic ESP Magna-IR 560 Spectrometer, Nicolet ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลโดยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงรังสีอินฟราเรดความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.8-200 ไมครอน ซึ่งมีเลขคณิตน้อยในช่วง 12500-50 cm⁻¹ ผลิตโดยบริษัท Nicolet Instrument Corporation ประเทศไทย สารัชอเมริกา ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

3. เครื่องบีบยางสองลูกกลิ้ง

เป็นเครื่องชนิดผิวลูกกลิ้งเป็นลวดลาย ขับด้วยมอเตอร์ ใช้ในการบีบยางธรรมชาติ อิพโอดไซด์ให้เป็นแผ่นบาง หลังจากจับตัวน้ำยางด้วยเมทานอล

4. เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

ลูกกลิ้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 15 นิ้ว อัตราความเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อ ลูกกลิ้งหลัง (Friction ratio) เท่ากับ 1:1.35 สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงสุด 399 องศาเซลเซียส ผลิตโดย ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชัยเจริญการช่าง ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูป 3



รูปที่ 3 เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

5. เครื่องรีโอมิเตอร์แบบแผ่นหมุน (Oscillating Disk Rheometer)

เป็นเครื่องรุ่น ODR 2000 ใช้รีเตอร์แบบ Biconical Disk ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3993 นิ้ว หมุนกลับไปมา ทำมุม 1° ด้วยความถี่ 100 รอบต่อนาที สามารถปรับอุณหภูมิการทดสอบได้สูงสุด 200 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท Monsanto Co., Ltd. ประเทศไทย ใช้สำหรับ

วิเคราะห์สมบัติการวัลคานิซ (Cure properties) ของยางกอนป่าวด์ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบแผ่นหมุน (Oscillating Disk Rheometer)

6. เครื่องอัดเนื้าไฮดรอลิก (Compression moulding machine)

เป็นเครื่องแบบสองชั้น ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด ชัยเจริญการช่าง ใช้สำหรับอัดยางชิ้นทดสอบ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องอัดเนื้าไฮดรอลิก (Compression moulding machine)

7. เครื่องบราบэнเดอร์ พลาสติคอร์เดอร์ (Brabender Plasticorder)

เป็นเครื่องทดสอบแบบปิดขนาดเล็กรุ่น PLE 331 ประกอบด้วยโรเตอร์ 2 ตัว มีปริมาตรความจุของห้องทดสอบเท่ากับ 80 cm^3 สามารถควบคุมความเร็วของโรเตอร์และอุณหภูมิขณะทดสอบได้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ เครื่องทดสอบ (Plasti-Corder PLE 331) เครื่องผลิตน้ำมันร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิห้องทดสอบซึ่งควบคุมความร้อนด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) ตัวเครื่องจะเชื่อมต่อกับตัวรับสัมภានข้อมูล (Data acquisition system) เพื่อวัดค่าทอร์คและอุณหภูมิของการทดสอบ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเครื่องบราบэнเดอร์ พลาสติคอดีอร์จัดเป็นอุปกรณ์ประเภท Torque Rheometer โดยเครื่องจะบันทึกgrafที่แสดงลักษณะตามการเปลี่ยนแปลงของการทดสอบที่สำคัญ 2 ปริมาณ คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างทอร์คกับเวลา และระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ผลิตโดยบริษัท Brabender Ohg Duisburg ประเทศเยอรมัน ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องบราบэнเดอร์ พลาสติคอร์เดอร์ (Brabender Plasticorder)

8. เครื่องบดพลาสติก

เป็นเครื่องบดพลาสติกทดสอบให้มีขนาดเล็กลง ผลิตโดยบริษัท Bosco engineering ประเทศไทย ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องบดพลาสติก

9. เครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก (Plastic Injection Moulding Machine)

เป็นเครื่องรุ่น TII-90F ขนาด 90 ตัน ผลิตโดยบริษัท Weltec Machinery LTD ประเทศอังกฤษ ใช้สำหรับฉีดขึ้นหดสอบซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกวัสดุไนท์ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก (Plastic Injection Moulding Machine)

10. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensometer)

เป็นเครื่องยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H 10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ประเทศอังกฤษ เป็นเครื่องที่ใช้วัดแรงกดหรือแรงดึง สามารถรับแรงได้สูงสุด 10 kN มี load cell ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากค่าแรงที่ได้ผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกเป็นค่าแรงดึงหรือแรงกดในหน่วยนิวตัน สามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.01 ถึง 1000 มิลลิเมตรต่อนาที ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensometer)

11. เครื่องรีโอมิเตอร์แบบคัปลลารี (Capillary Rheometer)

เป็นเครื่องวัดสมบัติการ ไฟลของพอลิเมอร์หลอม ยี่ห้อ โรชาน มีส่วนประกอบหลัก คือ กระบวนการหล่อ ซึ่งห่อหุ้นด้วยตัวให้ความร้อน 3 ชุด สามารถตั้งโปรแกรมได้ ที่บีริเวนต์รังสรรคของกระบวนการจะมีการเจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร จำนวน 1 รู ให้มีความยาวติดต่อแนวของกระบวนการ จะมีร่องเกลียวที่สามารถติดตั้งหัวด้วยได้ ส่วนบนของเครื่องมีส่วนประทับหลัก คือ ระบบขับเคลื่อนลูกสูบกดพอลิเมอร์หลอมด้วยอัตราเร็วที่กำหนดไว้ ในหน่วย cm/min นอกจากนี้ความเร็วในการทดลองจะแปรผันโดยตรงกับอัตราเร็วที่ใช้ในการทำไฟฟอลิเมอร์หลอม ไฟล ในการทดลองนี้ใช้สายที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และมีความยาว 32 มิลลิเมตร โดยกำหนดค่าอัตราการเร็อนอยู่ในช่วง $5-1780 \text{ s}^{-1}$ ใช้อุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 เครื่องวิจัยมิเตอร์แบบภาปิลารี ยี่ห้อ โรชาน (Rosand Capillary Rheometer)

12. เครื่องวิเคราะห์การสลายตัวของพอดิเมอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA)

เป็นเครื่องรุ่น TGA-50 ผลิตโดยบริษัท Shizadzu ประเทศญี่ปุ่น สามารถให้ความร้อนและชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ไปพร้อมๆ กัน ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือคือ เตาเผาที่มีความละเอียดในการตรวจวัดอุณหภูมิ (Furnace system) เป็นส่วนที่ให้ความร้อน และวัดอุณหภูมิ โดยที่เทอร์โมคัพเพล (Thermocouple) จะอยู่ในตำแหน่งด้านล่างของส่วนที่แขวนตัวอย่าง (sample holder) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิของตัวอย่าง และ ระบบเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 6 ตำแหน่ง (Microbalance system) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่วัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ เมื่อน้ำหนักเปลี่ยนแปลงจะทำให้คาน (beam) ที่คำนวณลดต่ำลงซึ่งจะถูกตรวจจับโดยระบบโถโทรศัพท์ (photoelectric element) และทำการขยายสัญญาณกระแสไฟฟ้าไปยังคดลวด (feedback coil) ทำให้

เกิดสนานแม่เหล็กไปทำให้เกิดสมดุลการหมุนของสนานแม่เหล็ก ตำแหน่งของงานจะถูกตรึงให้คงที่ ค่า torque เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสามารถวัดได้อย่างต่อเนื่องโดยการสุ่มค่ากระแสไฟฟ้า ลักษณะเครื่อง TGA แสดงดังในรูปที่ 11



รูปที่ 11 เครื่องวิเคราะห์การสลายตัวของพอลิเมอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA)

13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

เป็นเครื่องยี่ห้อ Leo รุ่น 1450 VP ส่วนประกอบของเครื่องประกอบด้วย แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron Gun) ระบบเลนส์ (Electromagnetic Lens) หัวดักจับสัญญาณ (Signal Detectors) และส่วนแสดงภาพของคอมพิวเตอร์ใช้ศึกษาสมบัติค้านสัมฐานวิทยาเพื่อดูการกระจายตัวของพอลิเมอร์ในพอลิเมอร์เบลนด์ ผลิตโดยบริษัท Leo ประเทศอังกฤษ ใช้สำหรับการศึกษาลักษณะทางค้านสัมฐานวิทยา ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM)

1.3 វិធីការណែនាំ

1.3.1 การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์

นำน้ำยางขันชนิดแเอม โมเนียสูง มาเจือจากให้มีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) เท่ากับ 20% เติมสู่ Terric N30 เพื่อให้อนุภาคของยางเสถียร ควบของผสมเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติมกรดฟอร์มิกอี่างช้าๆ แล้วเติมไฮดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นลำดับสุดท้าย สูตรที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไฮด์แสดงดังตารางที่ 1 ปล่อยให้ปฏิกริยาดำเนินต่อไป เก็บตัวอย่างทุก 15 นาที ในชั่วโมงแรก ทุกครั้งชั่วโมงในชั่วโมงที่ 2 และทุก 1 ชั่วโมง ในชั่วโมงต่อไป เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อิพอกไฮด์ โดยนำตัวอย่างที่เก็บมาจับตัวด้วยเมทานอล หลังจากนั้นนำไปรีดเป็นแผ่นบางๆ ด้วยเครื่องบีบยาง แล้วนำไปล้างน้ำให้สะอาดเพื่อจัดสารเคมีที่เหลือจากการทำปฏิกริยาออกไป นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างที่แห้งแล้วประมาณ 1 กรัม มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ไปละลายในคลอโรฟอร์ม หลังจากนั้นนำสารละลายยางที่ได้ไปทำเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ บนเซลล์โพแทสเซียมไบเมต์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยหมด จึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อิพอกไฮด์ โดยใช้เครื่อง FT-IR แล้วคำนวณหาปริมาณหมู่อิพอกไฮด์โดยใช้กราฟมาตราฐาน (Davey and Loadman, 1984)

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์

Chemicals	Quantities
Latex dry weight (g/l)	115.6
Hydrogen peroxide (g/l)	88.4
Formic acid (g/l)	41.4
10 % Terric N 30 (g/l)	13.0

1.3.2 การศึกษาสูตรยางคอมปาวด์ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางไนไตรล์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคานิซซ์

ทำการคอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางไนโตรล์กับสารเคมีชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 2 โดยยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่ใช้มีปริมาณหนึ่งอิพอกไซด์ 20 โนมลเปอร์เซ็นต์ ทำการผสมยางและสารเคมีโดยใช้เครื่องผสมแบบสองถุงกลิ้ง ขนาด 6 นิ้ว ตั้งอุณหภูมิในการผสม 50 องศาเซลเซียส ใช้วลางและขันตอนในการผสมและคงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการคอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และยางในไตรล์

Chemicals	Quantities (phr)					
	A	B	C	D	E	F
Rubber*	100	100	100	100	100	100
Zinc oxide	5	3	6	5	6	5
Stearic acid	2	1.5	0.5	2.5	0.5	2.5
CBS	2	-	-	-	-	-
MBTS	-	1	-	-	-	-
TMTD	2.5	0.33	-	-	-	-
MBT	-	-	0.5	-	-	-
TBBS	-	-	-	0.5	0.7	0.5
Wingstay L	-	-	-	1	0.6	1
Sulphur	0.2	1	3.5	2	3.5	2

*คือปริมาณยาง ENR-20 หรือ NBR ที่คอมปาวด์แยกกันในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 3 เวลาและขั้นตอนที่ใช้ในการผสมยางกับสารเคมี

Chemicals	Mixing time (min)	Overall time (min)
Rubber	5	5
Zinc oxide	2	7
Stearic acid	1	8
Wingstay L	1	9
Accelerators	1	10
Sulphur	2	12
Compound finishing	3	15

หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังต่อไปนี้

1.3.2.1 ทดสอบสมบัติการวัลภาไนซ์

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อหาค่าต่ำสุดของแรงบิดหรือทอร์ค (torque) ที่เกิดจากการเลื่อนระหว่างยางกับโรเตอร์ (M_L), ค่าแรงบิดหรือทอร์คสูงสุด (M_H), ค่าความแตกต่างระหว่างแรงบิดสูงสุดกับแรงบิดต่ำสุด ($M_H - M_L$), เวลา

สกอร์ช (Scorch time, t_{s1}), เวลาสูญ (Cure time, t_{c90}) และดัชนีความเร็วในการวัลค่าไนซ์ (Cure rate index, CRI)

1.3.2.2 ทดสอบสมบัติเชิงกลของยางคอมปาวด์

นำยางคอมปาวด์ที่ได้มาเตรียมขึ้นทดสอบโดยการอัดเบ้า ด้วยเครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิก ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาในการวัลค่าไนซ์ ตั้งทิ้งยางที่เตรียมไว้ 24 ชั่วโมงแล้ว ทำการทดสอบสมบัติดังนี้

1. ความต้านทานต่อแรงดึง

ทำการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 412 (2000) โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบล (dump-bell) ขนาดความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 6 ± 0.4 มิลลิเมตร หนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร และไม่เกิน 3 มิลลิเมตร โดยตัดตามแนวการเรียงตัวของโนเมกุลยาง (แนว grain) หรือตามแนวยางที่รีดออกมาจากถุงกลึง ใช้ดายชนิดที่ 1 (die type 1) ระยะที่ใช้วัด (guage length) มีระยะห่าง 230 มิลลิเมตร วัดความหนา 3 จุด นำไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensometer ที่อัตราการดึง 500 ± 50 มิลลิเมตร/นาที รายงานผลเป็น N/mm^2 หรือ MPa

$$\text{Tensile strength} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

โดยที่

$$F = \text{แรงที่ใช้ดึงจนยางขาด (นิวตัน)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของยาง (ตารางมิลลิเมตร)}$$

2. ความสามารถในการยืด

จะทำการทดสอบเหมือนกับการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงตามหัวข้อ 3.2.2.1 ค่าที่ได้จะวัดโดยการอ่านระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัว

$$\text{Elongation at break (\%)} = \frac{100 \times (L - L_0)}{L_0} \quad (2)$$

โดยที่

$$L = \text{ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืดจนขาด (เซนติเมตร)}$$

$$L_0 = \text{ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางตอนเริ่มต้นก่อนทำการทดสอบ (เซนติเมตร)}$$

3. โมดูลัสที่ระยะยืด 300 %

โดยการวัดความเครียด (strain) ของยางที่ยืดออก 300 % จากระยะเดิม การทดสอบจะทำการทดสอบเหมือนการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงตามหัวข้อ 3.2.2.1 รายงานผลเป็น N/mm^2 หรือ MPa

$$300 \% \text{ Modulus (MPa)} = \frac{f}{A} \quad (3)$$

โดยที่

f = แรงดึงของยางที่ระยะยืด 300 % (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของยาง (ตารางมิลลิเมตร)

1.3.3 การเตรียมสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการบดลัด

1.3.3.1 การเตรียมกราฟต์โพลิเมอร์ของโพลิไพรีลีนกับมาลิอิกแอนไฮไดรต์ (PP-g-MA)

เตรียม PP-g-MA โดยละลายมาลิอิกแอนไฮไดรต์ 9 ส่วน และไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ 0.8 ส่วนในอะซีตอ� 40 ส่วน โดยนำหนัก ดึงสารเคมีในตารางที่ 4 แล้วนำโพลิไพรีลีนมาคลุกกับสารละลายผสมข้างต้น และอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้อะซีตอన ออก จะได้ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์เคลือบที่ผิวของโพลิไพรีลีน หลังจากนั้นนำของผสมดังกล่าวบดในเครื่องบราบเนคเดอร์ พลาสติคเดอร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที และ Fill factor เท่ากับ 0.8 เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับ Garcia-Martinez *et al.* (1999) หลังจากนั้นนำคอมปาวด์ที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกเพื่อนำไปใช้งานโดยซีต์ไซบีคห์ (2548) ได้วิเคราะห์และพิสูจน์ว่าวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดการกราฟต์ของมาลิอิกแอนไฮไดรต์บนโมเลกุลของโพลิไพรีลีนดี

ตารางที่ 4 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมโพลิไพรีลีนกราฟต์มาลิอิกแอนไฮไดรต์

Chemicals	Quantities (%)
Polypropylene	100
Maleic anhydride	9
Dicumyl peroxide	0.8
Acetone	40

1.3.3.2 การเตรียมโพลิไพรีลีนที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยฟินอลิคเรชิน

(Phenolic modified Polypropylene, Ph-PP)

ทำการผสมโพลิไพรีลีน 100 ส่วน ไคเมทิลอลฟินอลิค เรชิน (SP-1045) 4 ส่วน และสารเร่งปฏิกิริยาสแตนน์สคอลอไรด์ ($\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 0.8 ส่วน ดึงสารเคมีในตารางที่ 5 ในเครื่องบรา

เป็นเดอร์ พลาสติกเดอร์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที และ Fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีขั้นตอนในการผสมดังนี้

- ใส่พอลิโพรไพลีนลงในห้องผสม บด 3 นาที
- เติมฟินอลิก เรซิน บดต่อ 2 นาที
- เติมสแตนน์สคลอโรด บดต่อ 3 นาที
- นำของผสมออกจากเครื่องบราเบนเดอร์ พลาสติกเดอร์ แล้วนำไปตัดให้มีขนาดเล็ก ด้วยเครื่องบดพลาสติก เพื่อนำไปใช้งาน โดยตีตีใช้ยีดะห์ (2548) ได้วิเคราะห์และพิสูจน์ว่าวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดการกราฟต์ของไดเมทิลอลฟินอลิก เรซิน บนโภเมเลกุลของพอลิโพรไพลีนดี

ตารางที่ 5 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมพอลิโพรไพลีนกราฟต์ฟินอลิกเรซิน

Chemicals	Quantities (%)
Polypropylene	100
SP-1045	4
Stannous chloride	0.8

1.3.4 การศึกษานิคและปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลภาในซึ่จากการเบلنด์ NBR/PP และ ENR/PP

เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลภาในซึ่ จากการเบلنด์ระหว่างพอลิโพรไพลีนกับคอมปาวด์ของยางในไตรล์ และ เทอร์โมพลาสติกวัลภาในซึ่จากการเบلنด์พอลิโพรไพลีนกับคอมปาวด์ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีปริมาณหมุ่อิพอกไซด์ 20 โนลเปอร์เซ็นต์ (ENR-20) ใช้สูตรยางที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 โดยแปรชันดและปริมาณของสารเพิ่มความเข้ากันได้ รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้แสดงดังตารางที่ 6 โดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ พลาสติกเดอร์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที และ Fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีขั้นตอนในการผสมดังนี้

- ใส่พอลิโพรไพลีนลงในห้องผสม บด 2 นาที
- เติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ (SP-1045, หรือ PP-g-MA, หรือ Ph-PP) บดต่อ 1 นาที
- เติมยางคอมปาวด์ บดต่อจนค่าทอร์คคงที่
- นำของผสมออกจากห้องผสม แล้วนำไปตัดให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก
- ทำการขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดพลาสติก ตามหัวข้อ 1.3.8 แล้วนำไปทดสอบ สมบัติตามหัวข้อ 1.3.9

ตารางที่ 6 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์

สารเคมี	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
ยางคอมปาวด์*	60	60	60	60	60	60
พอลิไพร์ไฟลีน	40	40	40	40	40	40
สารเพิ่มความเข้ากันได้**	0	1	3	5	10	15

* ยางคอมปาวด์ที่ใช้ คือ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ (ENR-20) กับ ยางไนไตรล์

** สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ใช้ คือ SP-1045, PP-g-MA และ Ph-PP โดยใช้ในปริมาณเทียบกับ เบอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิไพร์ไฟลีน

1.3.5 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบلنด์ NBR/ENR/PP ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์

ทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบلنด์ คอมปาวด์ยางไนไตรล์ คอมปาวด์ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และพอลิไพร์ไฟลีน (NBR/ENR/PP) ใช้ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.4 (PP-g-MA และ Ph-PP ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของพอลิไพร์ไฟลีน) โดยใช้ปริมาณสารเคมีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 7 โดยใช้เครื่องบรรจุแบบเดอร์ พลาสติกเดอร์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที และ Fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีขั้นตอนในการผสมดังนี้

- ใส่พอลิไพร์ไฟลีนลงในห้องผสม บด 2 นาที
- เติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ (Ph-PP, หรือ PP-g-MA) บดต่อ 1 นาที
- เติมคอมปาวด์ยางไนไตรล์ บดต่อ 1 นาที
- เติมคอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ บดต่อจนค่าทอร์คคงที่
- นำของผสมออกจากห้องผสม แล้วนำไปตัดให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก
- ทำการขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยเครื่องนีดพลาสติก ตามหัวข้อ 1.3.8 แล้วนำไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 1.3.9-1.3.14

ตารางที่ 7 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์

สูตรที่	คอมปาวด์ยาง ไนไตรอล (%)	คอมปาวด์ยางธรรม ชาติอิพอกไซด์* (%)	พอลิไพริพลีน (%)	Ph-PP, PP-g-MA** (%)
สูตรที่ 1	60	0	40	5
สูตรที่ 2	50	10	40	5
สูตรที่ 3	40	20	40	5
สูตรที่ 4	30	30	40	5
สูตรที่ 5	20	40	40	5
สูตรที่ 6	10	50	40	5
สูตรที่ 7	0	60	40	5

* ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่ใช้มีปริมาณหนูอิพอกไซด์ ประมาณ 20 โมลเปอร์เซ็นต์

** compatibilizers เทียบกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิไพริพลีน

1.3.6 ศึกษาชนิดของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบลนด์ NBR/ENR/PP

ทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ จากการเบลนด์คอมปาวด์ยางไนไตรอล คอมปาวด์ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีปริมาณหนูอิพอกไซด์ประมาณ 30 และ 40 โมลเปอร์เซ็นต์ และพอลิไพริพลีน โดยใช้อัตราส่วนการเบลนด์ที่เหมาะสมจากหัวข้อ 1.3.5 (NBR/ENR/PP เท่ากับ 20/40/40 และ 10/50/40) โดยใช้ปริมาณสารเคมีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 8 ในเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติกเดอร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที และ Fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีขั้นตอนในการผสมดังนี้

- ใส่พอลิไพริพลีนลงในห้องผสม บด 2 นาที
- เติม Ph-PP บดต่อ 1 นาที
- เติมคอมปาวด์ยางไนไตรอล บดต่อ 1 นาที
- เติมคอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ บดต่อจนค่าทอร์คคงที่
- นำของผสมออกจากห้องผสม และนำไปตัดให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก
- ทำการขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดพลาสติก ตามหัวข้อ 1.3.8 และนำไปทดสอบ
สมบัติตามหัวข้อ 1.3.9-1.3.14

ตารางที่ 8 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์

สารเคมี	สูตรที่ 1 (%)	สูตรที่ 2 (%)
คอมปาวด์ยางในไตรล์	20	10
คอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์*	40	50
พอลิไพริเพล็น	40	40
Ph-PP**	5	5

* ใช้ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์ 30 และ 40 โมลเปอร์เซ็นต์

** Ph-PP เทียบกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิไพริเพล็น

1.3.7 ศึกษาผลของการแปรรูปแบบวัลค่าไนเซ็นต์ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP

1.3.7.1 การทดสอบสมบัติยางคอมปาวด์ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางในไตรล์

ทำการคอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางในไตรล์กับสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังตารางที่ 9 โดยชนิดยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่เหมาะสมจากหัวข้อ 1.3.6 (ENR-20) ทำการทดสอบยางและสารเคมีโดยใช้เครื่องทดสอบแบบส่องลูกกลิ้ง ขนาด 6 นิ้ว ตั้งอุณหภูมิในการทดสอบ 50 องศาเซลเซียส โดยแปรรูปแบบเปอร์อ็อกไซด์ ระบบผสม และระบบพินอลิก

ตารางที่ 9 สารเคมีที่ใช้ในการคอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และยางในไตรล์

Chemicals	Peroxide system (phr)	Mixed system (phr)	Phenolic system (phr)
Rubber	100	100	100
Zinc oxide	-	6	-
Stearic acid	1	0.5	1
TBBS	-	0.7	-
Wingstay L	-	0.6	-
Sulphur	-	3.0	-
DCP	1	0.5	-
TAC	0.5	0.25	-
SP-1045	-	-	4
SnCl ₂	-	-	0.5

หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 1.3.2.1

1.3.7.2 เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในช่วงจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP โดยใช้ระบบเปอร์ออกไซด์ ระบบผสม และระบบฟินอลิก

ทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในช่วงจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ใช้ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเข้ากัน ได้ที่เหมาะสมจากหัวข้อ 1.3.4 โดยใช้อัตราส่วนการเบลนด์ที่เหมาะสมจากหัวข้อ 1.3.5 ปริมาณสารเคมีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 10 ในเครื่องบรรจุภัณฑ์ พลาสติกอุดร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที และ Fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีขั้นตอนในการผสมดังนี้

- ใส่พอลิไพริพลีนลงในห้องผสม บด 2 นาที
- เติม Ph-PP บดต่อ 1 นาที
- เติมคอมปาวด์ยางในไตรล์ บดต่อ 1 นาที
- เติมคอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ บดต่อจนค่าทอร์คคงที่
- นำของผสมออกจากห้องผสม แล้วนำไปตัดให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก
- ทำการขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยเครื่องนีดพลาสติก ตามหัวข้อ 1.3.8 แล้วนำไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 1.3.9-1.3.14

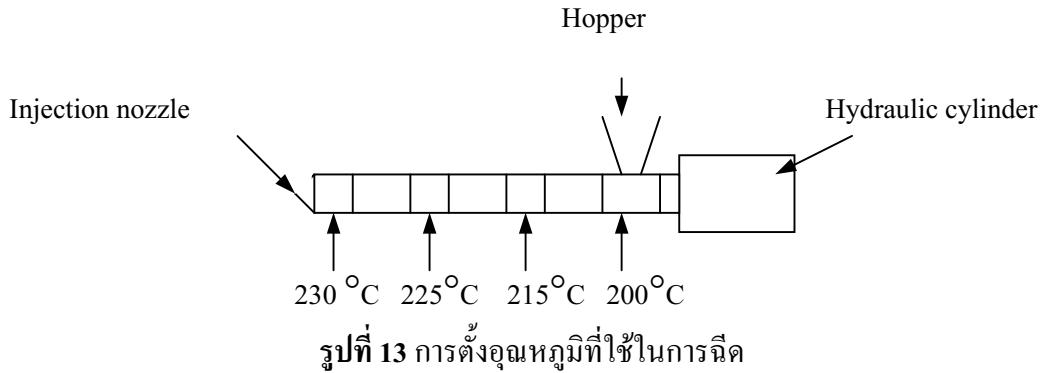
ตารางที่ 10 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในช่วง

สารเคมี	สูตรที่ 1 (%)	สูตรที่ 2 (%)
คอมปาวด์ยางในไตรล์	20	10
คอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์	40	50
พอลิไพริพลีน	40	40
Ph-PP*	5	5

* Ph-PP เทียบกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิไพริพลีน

1.3.8 การเตรียมชิ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก

ตั้งสภาวะของการฉีดเพื่อเตรียมชิ้นรูปชิ้นทดสอบรูปดัมเบล (dumb-bell) ดังนี้ ความดันฉีดจังหวะที่ 1 เท่ากับ 75 และความดันฉีดจังหวะที่ 2 เท่ากับ 65 การตั้งอุณหภูมิของเครื่อง แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการนีด

1.3.9 การทดสอบสมบัติซึ่งก่อของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์

ตั้งชิ้นทดสอบที่เตรียมได้ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากขึ้นรูป ก่อนนำมาทดสอบสมบัติดังนี้

1. ความต้านทานต่อแรงดึงความสามารถในการยืด

ทำการทดสอบโดยวิธีการและการคำนวณในทำนองเดียวกับการทดสอบยางวัลค่าไนซ์ในหัวข้อ 3.3.2 โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) ในการคำนวณ ตามลำดับ

2. ความสามารถในการคืนตัว

ทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 412 (2000) โดยยึดยางออกถึงระยะ 100 เपอร์เซ็นต์ภายใน 15 วินาที ปล่อยให้ยางยืดในระยะระดับนั้นเป็นเวลา 10 นาที แล้วปล่อยยางกลับสู่รูปเดิม และตั้งยางทิ้งไว้ 10 นาที แล้ววัดระยะห่างระหว่างรอยที่ปิดไว้ การคำนวณค่า Tension set ทำโดยการแทนค่า L ในสมการที่ 2 ด้วยค่าระยะห่างระหว่างรอยปิดที่วัดได้หลังจากที่ตั้งยางทิ้งไว้ 10 นาที

1.3.10 ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการเสื่อมเนื่องจากความร้อน

การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการเสื่อมเนื่องจากความร้อน ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D454 (2000) ทำโดยนำชิ้นทดสอบรูปดัมเบลขนาด Die Type C มาทำการบ่มเร่งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้ว ตั้งชิ้นทดสอบไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 96 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และความสามารถในการคืนตัวตามข้อ 3.9

1.3.11 ทดสอบสมบัติทางรีโอลอยีของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์

ทำการทดสอบสมบัติทางรีโอลอยีของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ด้วยเครื่องรีโอลอยีเมเตอร์แบบค้าปีลลารี (Single bore Rosand capillary rheometer) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และตั้งค่า

อัตราการเฉือนในช่วง $5 - 1780 \text{ s}^{-1}$ โดยใช้ด้วยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความยาว 32 มิลลิเมตร และมุมไอลเข้า 90 องศา การคำนวณสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอม ทั้งความเค้นเฉือนปรากฏ อัตราเฉือนปรากฏ และความหนืดเฉือนปรากฏ แสดงในสมการที่ 4-6

$$\text{ความเค้นเฉือนปรากฏที่ผนัง (Pa)} : \quad \tau = \frac{R \Delta P}{2L} \quad (4)$$

$$\text{อัตราเฉือนปรากฏที่ผนัง (s}^{-1}\text{)} : \quad \gamma^*_{\text{app}} = \frac{4Q}{\pi R^3} \quad (5)$$

$$\text{ความหนืดเฉือนปรากฏ (Pa.s)} : \quad \eta_s = \frac{\tau}{\gamma^*_{\text{app}}} \quad (6)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันตกคร่อมในด้วย (pressure drop) (Pa)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

R คือ รัศมีของด้วยค่าปีลลารี (m)

L คือ ความยาวของด้วยค่าปีลลารี (m)

จากสมการ 4-6 เป็นค่าที่เป็นสมบัติปรากฏ (apparent values) แทนที่จะเป็นค่าจริงของ การไหลของพอลิเมอร์หลอม ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณได้ใช้ของไอลนิวเคลียนเป็นตัวเปรียบเทียบการทดสอบจะเปรียบเทียบสมบัติการไหลในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือนปรากฏ (Apparent shear rate, γ^*_{app}) กับความเค้นเฉือนปรากฏ (Apparent shear stress, τ) และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือนปรากฏกับความหนืดเฉือนปรากฏ (Apparent shear viscosity, η_s)

1.3.12 วิเคราะห์ลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา (Morphological properties)

การทดสอบลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) โดยการทำให้ชิ้นตัวอย่างแตกหักในไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ได้ผิวทดสอบใหม่ หลังจากนั้นทำการละลายเฟสพลาสติกออก โดยแช่ในไซลินร้อนเป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วทำการเคลือบด้วยทองคำโดยนำตัวอย่างวางในเครื่องสำหรับเคลือบทอง ภายใต้สูญญากาศ ปล่อยก๊าซ Akron (Ar) เข้ามา และปรับกระแสไฟฟ้า ก๊าซ Akron จะเกิดแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนวิ่งไปชนแผ่นทองและลงมาเคลือบที่ชิ้นตัวอย่าง แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 เท่าเพื่อสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์

1.3.13 ทดสอบสมบัติด้านความร้อนของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ด้วยเทคนิค

Thermogravimetric analysis (TGA)

การทดสอบจะนำชิ้นตัวอย่างมาตัดให้มีน้ำหนักไม่เกิน 10 มิลลิกรัม มาทดสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer โดยการเผาพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิห้องงานถึง 800 องศาเซลเซียส ที่อัตราเพิ่มอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 11 ในบรรยายการไนโตรเจน เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวและความทนทานต่อความร้อนของพอลิเมอร์

ตารางที่ 11 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ในการทดสอบความทนทานต่อความร้อน

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (°C/min)
30-400	10
400-550	5
550-800	10

1.3.14 ทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent resistance) ของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์

การทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent resistance) จะทดสอบการบวมพอง (Swelling test) ตามมาตรฐาน ASTM D471 (2000) โดยนำชิ้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสใหม่ขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ชั้นน้ำหนักชิ้นทดสอบละอีด 0.0001 กรัม แช่ในตัวทำละลาย 50 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุในบีกเกอร์ ปิดภาชนะให้มิดชิดเป็นเวลา 166 ชั่วโมง จึงนำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

$$\text{Swelling (\%)} = 100 \times (W_s - W_o) / W_o \quad (7)$$

โดยที่

W_s คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังจากแช่ในตัวทำละลาย (กรัม)

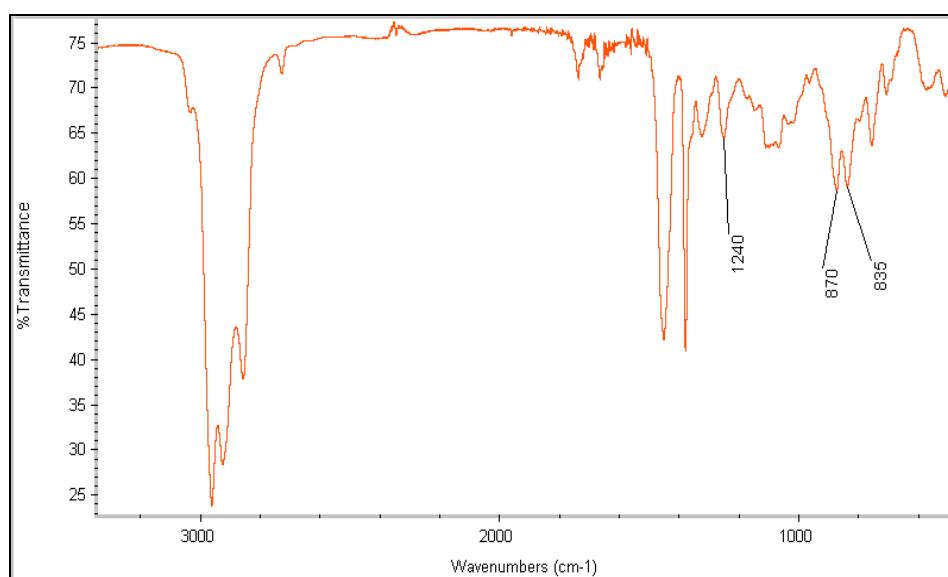
W_o คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่ในตัวทำละลาย (กรัม)

ในการทดลองนี้ดัดแปลงจากมาตรฐานโดยการใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ สารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนต่อโกลูอิน ในอัตราส่วน 50:50 น้ำมันเบนซิน และน้ำมันเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

2. ผลการทดลองและวิจารณ์

2.1 การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์

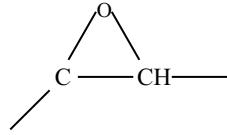
จากการทดลองเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ตามหัวข้อ 1.3.1 แล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคป จะได้สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ดังรูปที่ 14 พบว่ามีพีคของหมู่อิพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคู่ 870 cm^{-1} และ 1240 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบพีคอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 12 จากสเปกตรัมอินฟราเรดสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณของอิพอกไซด์ (%) การเกิดหมู่อิพอกไซด์ (% epoxidation) โดยใช้อัตราส่วนการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (absorbance ratio) ของหมู่อิพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคู่ 870 cm^{-1} เปรียบเทียบกับตำแหน่งเลขคู่ 835 cm^{-1} (ซึ่งแสดงถึงการมีพันธะ C-H ที่ต่อ กับ C=C ของ *cis*-1,4-Polyisoprene) ไปคำนวณค่า อัตราส่วนการดูดกลืน (Ar) โดยวัดความสูงของพีคและการคำนวณดังรายละเอียดและสมการคำนวณแสดงในรูปที่ 15

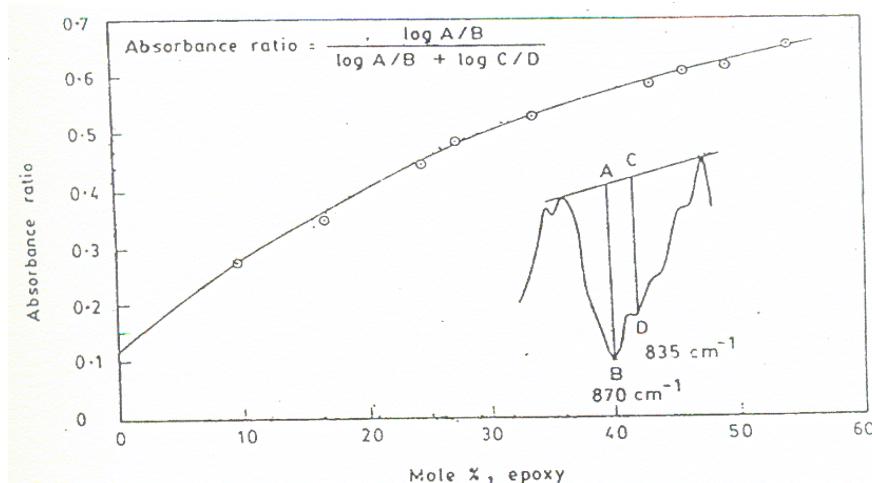


รูปที่ 14 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอิพอกไซด์

ตารางที่ 12 ตำแหน่งเลขค่าของพีคスペกตรัมอินฟราเรด หมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอิพอกไซด์

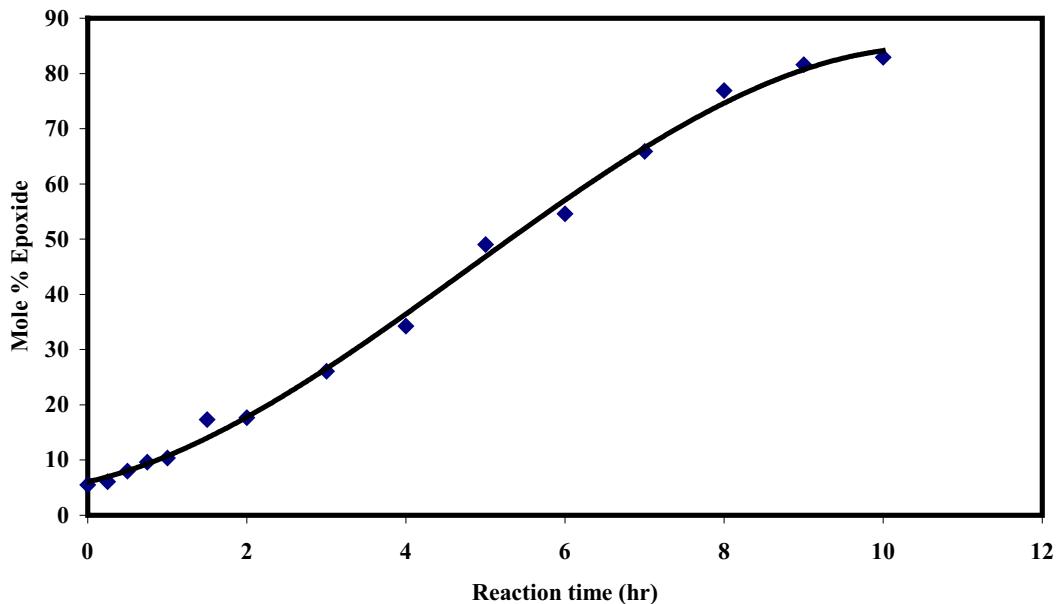
(Davey and Loadman, 1984)

หมู่ฟังก์ชัน	เลขค่า (cm ⁻¹)
-CH ₃	2956, 1377
-CH ₂	2925, 1446
C=C	1657
-C=CH-(cis-1,4)	835
	870, 1240

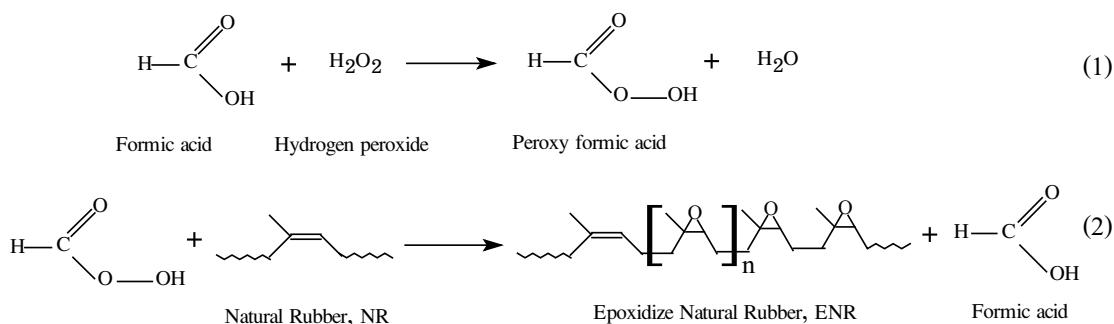


รูปที่ 15 ตำแหน่งของพีคอินฟราเรดและการฟมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อิพอกไซด์ในไมเลกุลยางธรรมชาติอิพอกไซด์ (Davey and Loadman, 1984)

จากรูปที่ 15 แสดงกราฟมาตรฐานของการคำนวณปริมาณหมู่อิพอกไซด์ ซึ่งในการทดลองนี้ สามารถคำนวณปริมาณหมู่อิพอกไซด์ที่เวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ แสดงผลดังรูปที่ 16 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาอิพอกไซเดชัน ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณหมู่อิพอกไซด์ในไมเลกุลยางธรรมชาติในลักษณะโพลิโนเมียล เนื่องจากการเปลอร์ฟอร์มิก จะทำปฏิกิริยากับโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวของยางธรรมชาติ เกิดเป็นวงแหวนอิพอกไซด์ขึ้นบนโครงสร้างไมเลกุล และได้กรดฟอร์มิกซึ่งเป็นผลผลอยได้ สามารถเกิดปฏิกิริยากับไฮโคลเรนเปลอร์ออกไซด์ในระบบได้ต่ออีก ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกว่าไฮโคลเรนเปลอร์ออกไซด์จะหมด ดังรายละเอียดปฏิกิริยาที่ 1 และ 2 ในรูปที่ 17 ดังนั้นเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นปริมาณหมู่อิพอกไซด์จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากไมเลกุลยางธรรมชาติมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับกรดเปลอร์ฟอร์มิก แล้วถ่ายเป็นไมเลกุลยางที่มีหมู่อิพอกไซด์ในโครงสร้างมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอนุอิพอกไซด์กับเวลาการทำปฏิกริยา



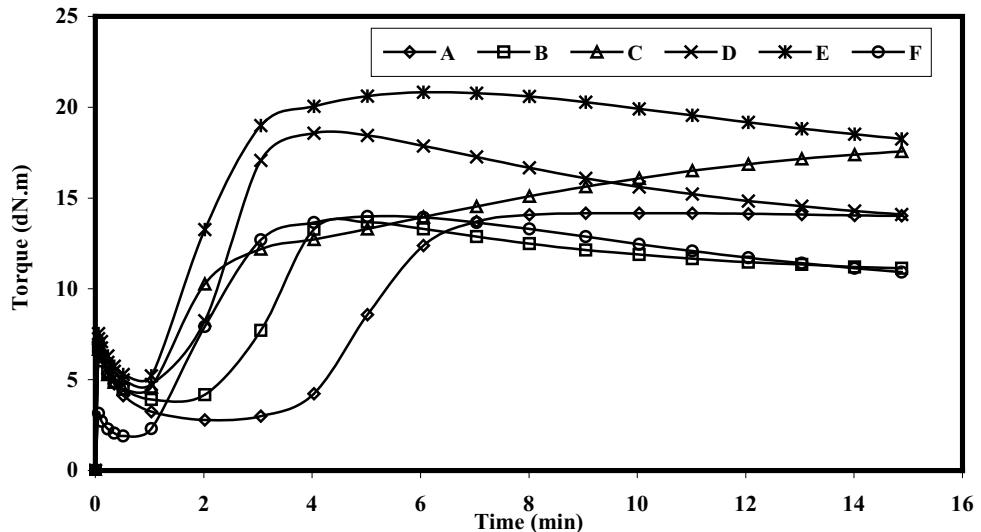
รูปที่ 17 ปฏิกริยาอิพอกไซเดชันโดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ดัดแปลงจาก Baker and Gelling, 1987)

2.2 การศึกษาสูตรยางที่เหมาะสมที่จะใช้เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้น

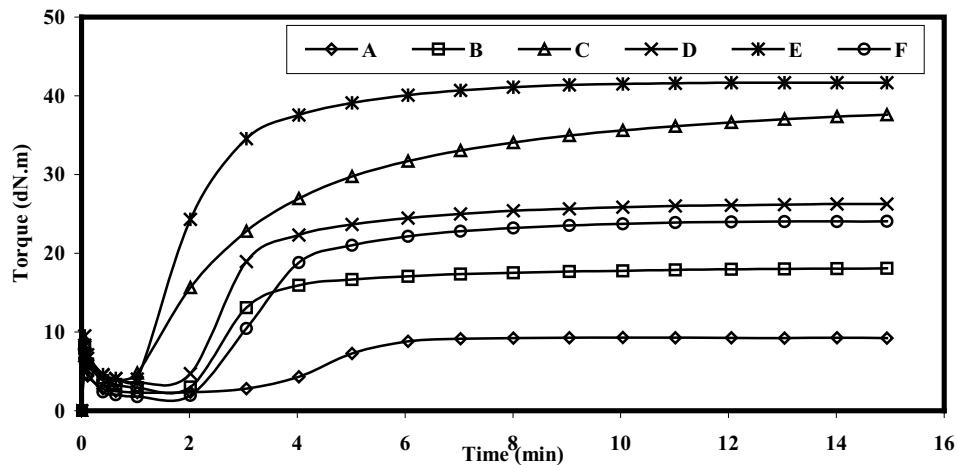
2.2.1 สมบัติการวัลค่าในชั้น

นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมโดยใช้สารเคมีดังตารางที่ 2 และวิธีการผสมดังตารางที่ 3 ทำการทดสอบสมบัติการวัลค่าในชั้นโดยใช้เครื่อง ODR 2000 เพื่อสังเกตและวิเคราะห์ลักษณะการวัลค่าในชั้นของยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางในไตรล์ที่ใช้สูตรในการคอมปาวด์ต่างกันเพื่อหาสูตรยางที่เหมาะสมที่จะใช้เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้น โดยตั้งอุณหภูมิในการทดสอบ 160 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทดสอบ 30 นาที ได้ผลการทดลองกราฟการวัลค่าในชั้นจากเครื่อง ODR

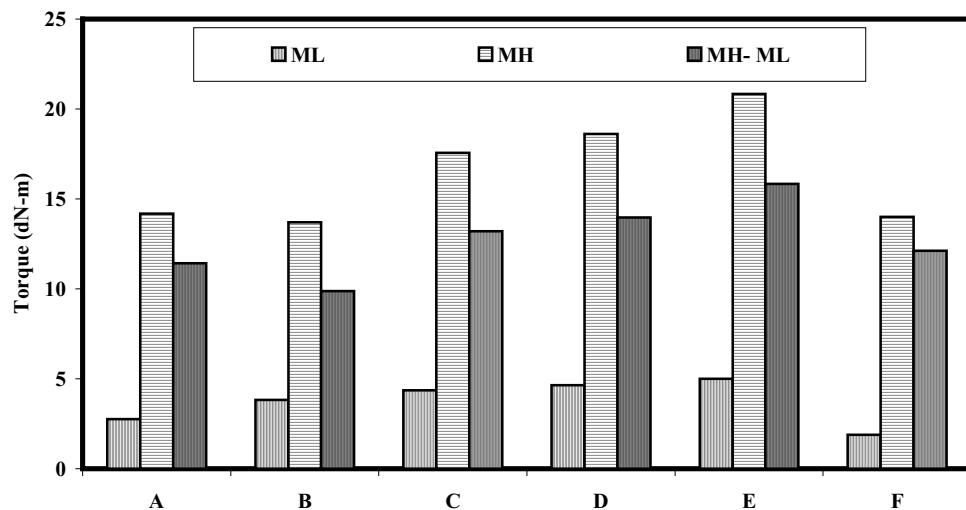
แสดงดังรูปที่ 18 และ 19 สามารถหาค่าทอร์กสูงสุด (M_H), ทอร์กต่ำสุด (M_L), ผลต่างของทอร์ก ($M_H - M_L$), เวลาสกอช (scorch time, ts_1), เวลาวัลค้านิช (cure time, tc_{90}) และดัชนีอัตราในการวัลค้านิช (cure rate index, CRI) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 20-22



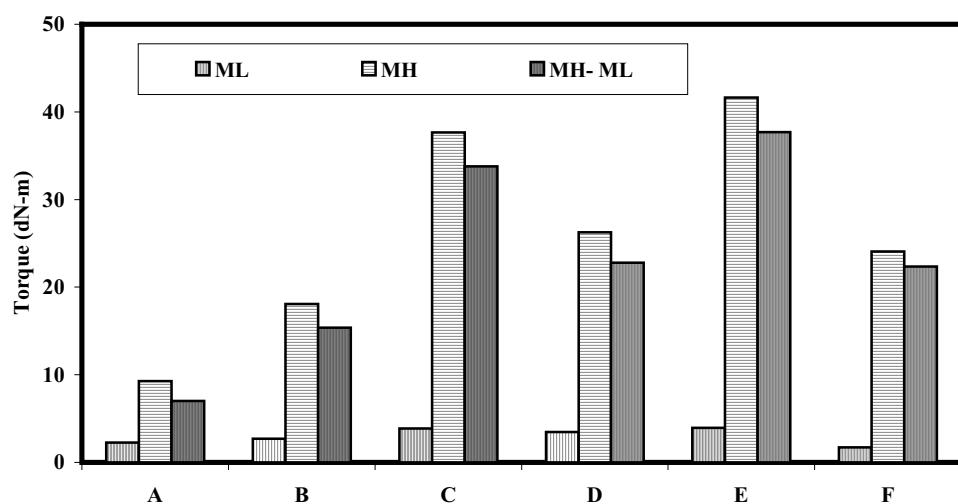
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่ใช้สูตรการวัลค้านิชต่างๆ ทดสอบที่ 160 องศาเซลเซียส



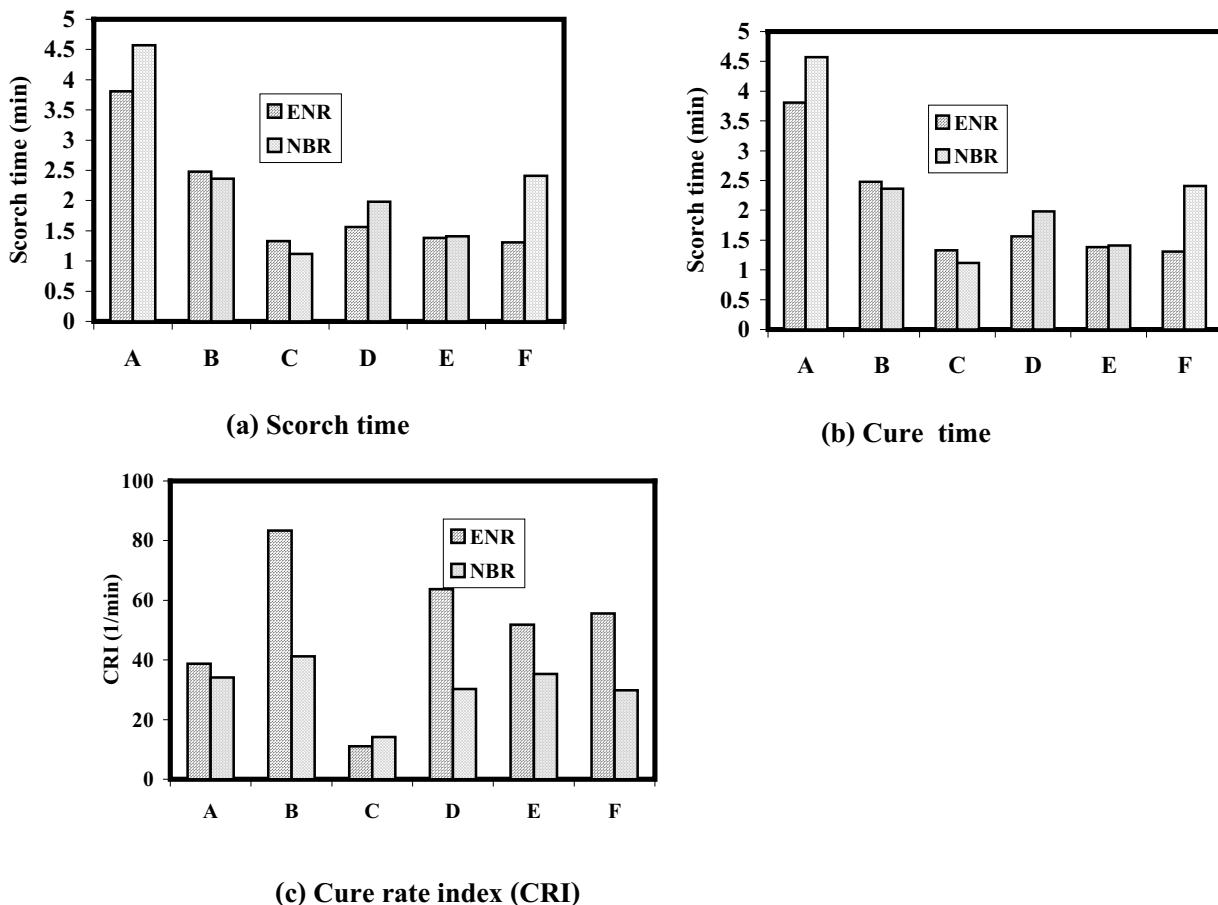
รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาของยางในไตรล์ที่ใช้สูตรการวัลค้านิชต่างๆ ทดสอบที่ 160 องศาเซลเซียส



รูปที่ 20 ค่าทอร์กสูงสุด (M_H), ทอร์กต่ำสุด (M_L), ผลต่างของทอร์ก ($M_H - M_L$) ของคอมปาวด์ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์



รูปที่ 21 ค่าทอร์กสูงสุด (M_H), ทอร์กต่ำสุด (M_L), ผลต่างของทอร์ก ($M_H - M_L$) คอมปาวด์ยางในไตรล์



รูปที่ 22 เปรียบเทียบสมบัติวัลคาไนซ์ระหว่างคอมปาวด์ยางในไตรล์กับยางธรรมชาติอิพอกไซด์

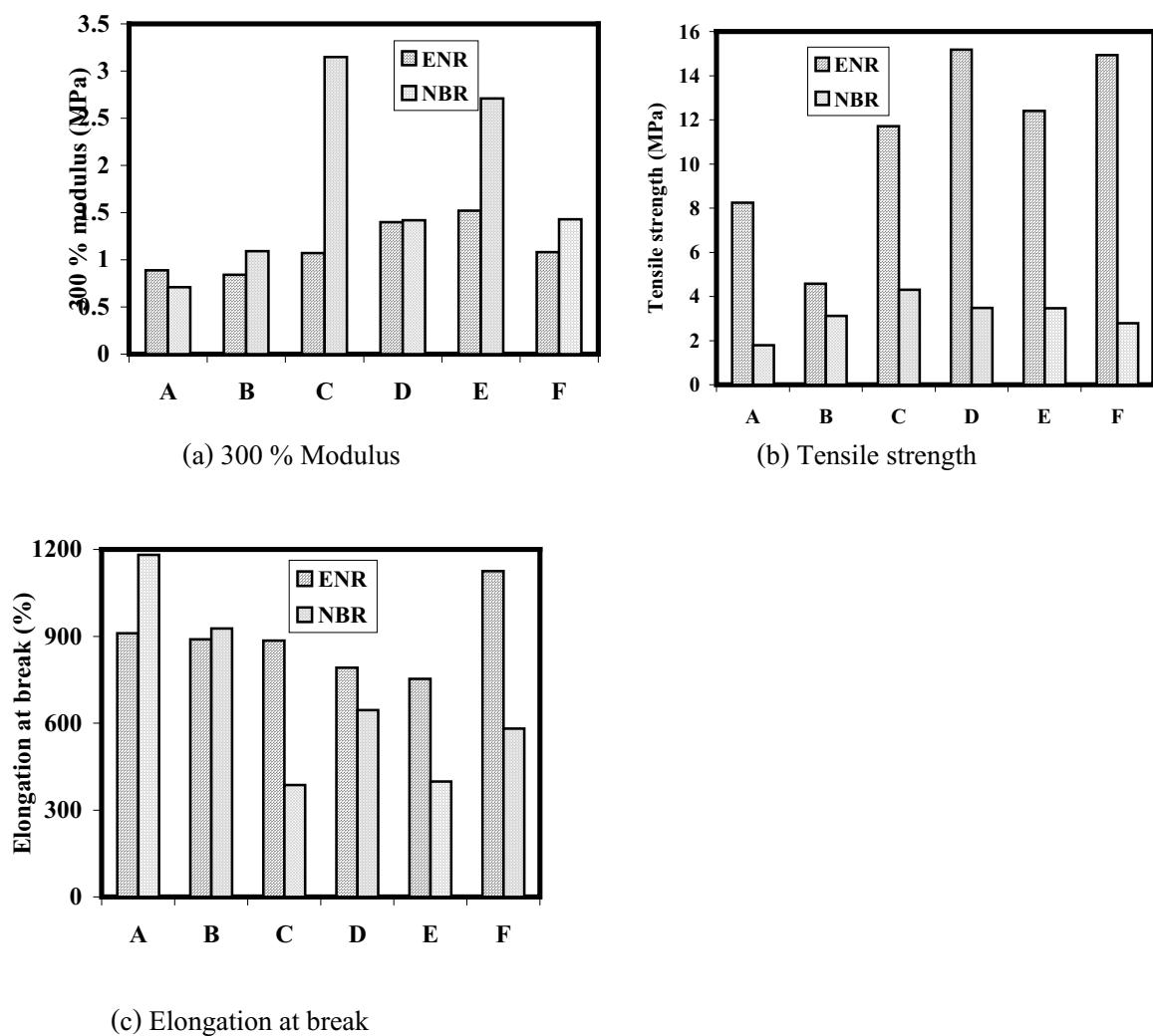
(a) Scorch time (b) Cure time และ (c) Cure rate Index

จากรูปที่ 20 และ 21 เมื่อเปรียบเทียบค่าทอร์คสูงสุด ค่าแรงทอร์คต่ำสุดและความแตกต่างของทอร์คของยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางในไตรล์ที่ใช้สูตรแตกต่างกัน พบว่า สูตร E มีค่าทอร์คสูงสุด ค่าทอร์คต่ำสุดและความแตกต่างของทอร์คสูงที่สุด ซึ่งค่าความแตกต่างของทอร์คสูงสุดและทอร์คต่ำสุดจะบ่งชี้ถึงระดับหรือปริมาณการเชื่อมโยงของโมเลกุลยาง แสดงว่าสูตร E โมเลกุลยางจะเกิดพันธะเชื่อมโยงสูงที่สุดทั้งในยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางในไตรล์

จากรูปที่ 22 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ (Scorch time) ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางในไตรล์ที่ใช้สูตรแตกต่างกันพบว่า สูตร E มีระยะเวลาที่ยางสามารถแปรรูปได้สั้น แต่เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการวัลคาไนซ์และอัตราการวัลคาไนซ์ พบว่าในยางในไตรล์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์สูตร E ให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์และอัตราการวัลคาไนซ์อยู่ในระดับที่ดี ดังนั้นสูตร E น่าจะเหมาะสมที่จะใช้ในการวัลคาเรียนซ์ยางในไตรล์และยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่นำมาเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์มากที่สุด

2.2.2 สมบัติเชิงกลของยางคอมปาวด์

นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้จากข้อ 1.3.2 มาอัดเป็นชิ้นทดสอบด้วยเครื่องอัดเป้าไฮดรอลิก ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาการวัดค่าในช่องยางคอมปาวด์แต่ละสูตร ตั้งแต่ยางที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จนถึงน้ำไปทดสอบสมบัติ แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสที่ระยะดีด 300 เปอร์เซ็นต์ความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความสามารถในการยึดของสูตรยางแบบต่างๆ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 23



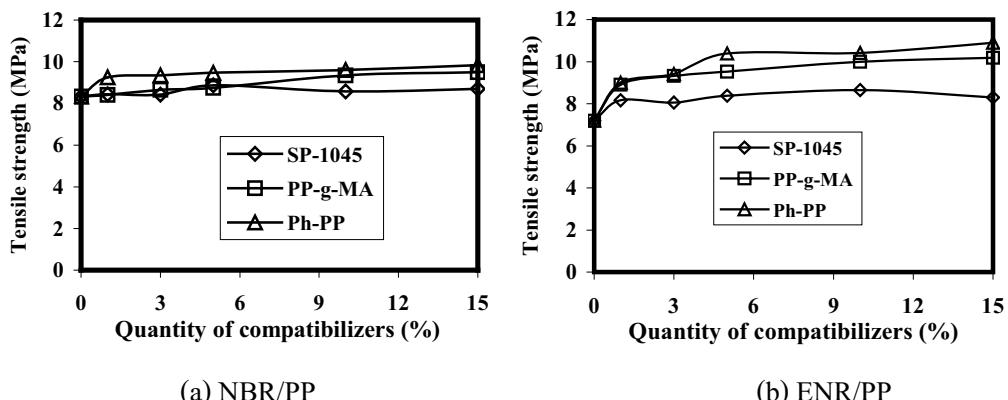
รูปที่ 23 เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางในไตรล์ที่ใช้สูตรในการคอมปาวด์ต่างกัน

จากรูปที่ 23 พบร่วมกับความสามารถต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยึดของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ จะสูงกว่ายางในไตรล์ เนื่องจากยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีหมุนอิพอกไซด์ประมาณ 20 โนมบเปอร์เซ็นต์ สามารถเกิดผลึกได้เมื่อยืด (strain induced crystallization) (Davey *et al.*, 1983) ทำให้มีความสามารถต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยึดสูงกว่ายางในไตรล์ซึ่งไม่

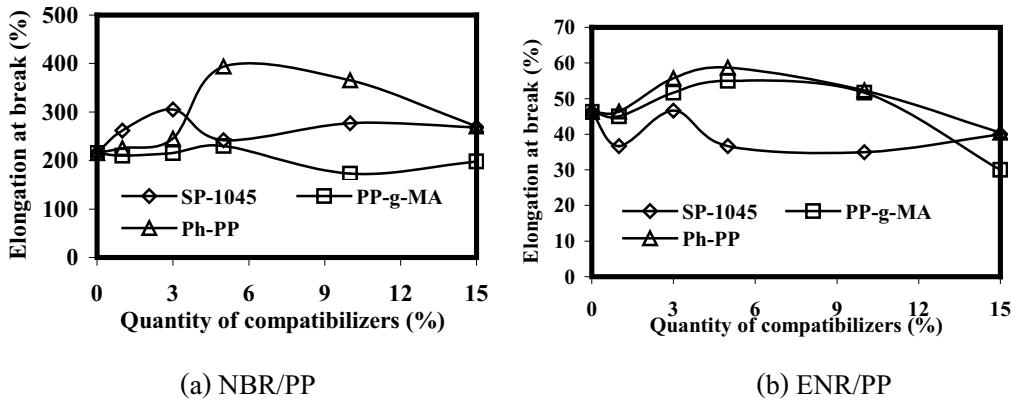
สามารถเกิดผลลัพธ์ได้ เมื่อเปรียบเทียบสมบัติค่าโมดูลัสที่ 300 เบอร์เซ็นต์ ความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความสามารถในการยืดแต่ละสูตรพบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งสามารถเรียงลำดับสมบัติ เชิงกลจากสูงไปหาต่ำ คือ สูตร F > สูตร D > สูตร C > สูตร E > สูตร A > สูตร B ตามลำดับ และ เมื่อพิจารณาร่วมกับสมบัติการวัดค่าไนซ์ของยางคอมปาวด์ พบว่ายางคอมปาวด์สูตร E น่าจะเหมาะสมที่จะนำมาเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์มากที่สุด โดยเฉพาะค่าท่อร์คจากการฟกรากวัลค่าไนซ์ ซึ่งแสดงถึงคอมปาวด์มีการเชื่อมโยงของพันธะในโมเลกุลสูงที่สุดและสมบัติเชิงกลอยู่ในเกล็นที่ยอมรับได้

2.3 การศึกษานิodic และปริมาณของสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์จากการเบลนด์ NBR/PP และ ENR/PP

นำสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ (ENR-20) กับพอลิไพริเพลิน และยางไนไตรล์กับพอลิไพริเพลิน ในตารางที่ 6 ที่อัตราส่วนยางต่อพอลิไพริเพลิน 60/40 เปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ 3 ชนิด คือพนอลิกเรชิน (SP-1045) PP-g-MA และ Ph-PP ที่เตรียมโดยใช้วิธีการทดลองในหัวข้อที่ 1.3.3 ใน การทดลองนี้ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ทั้ง 3 ชนิด ในปริมาณ 1, 3, 5, 10 และ 15% โดยนำหัวน้ำกของพอลิไพริเพลิน หลังจากเตรียม TPVS แล้วทำการทดสอบสมบัติตามข้อ 1.3.9 ได้ผลการทดลอง ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืด ดังแสดงในรูปที่ 24 และ 25 ตามลำดับ



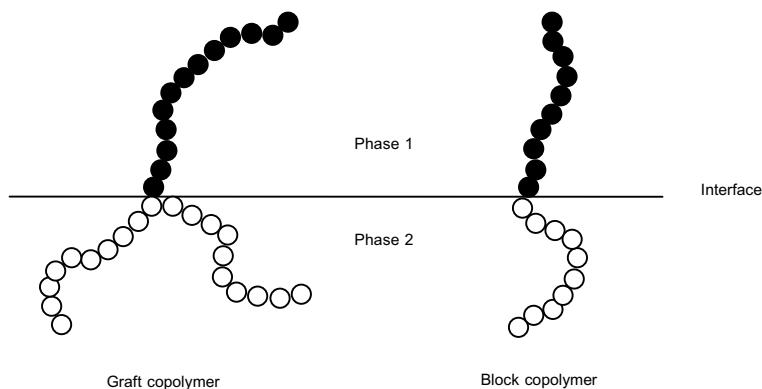
รูปที่ 24 ความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ที่อัตราส่วนยางต่อพอลิไพริเพลิน 60/40 โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ และปริมาณ



รูปที่ 25 ความสามารถในการยึดของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ ที่อัตราส่วนยางต่อ พอลิไพริฟลีน 60/40 โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ และปริมาณ

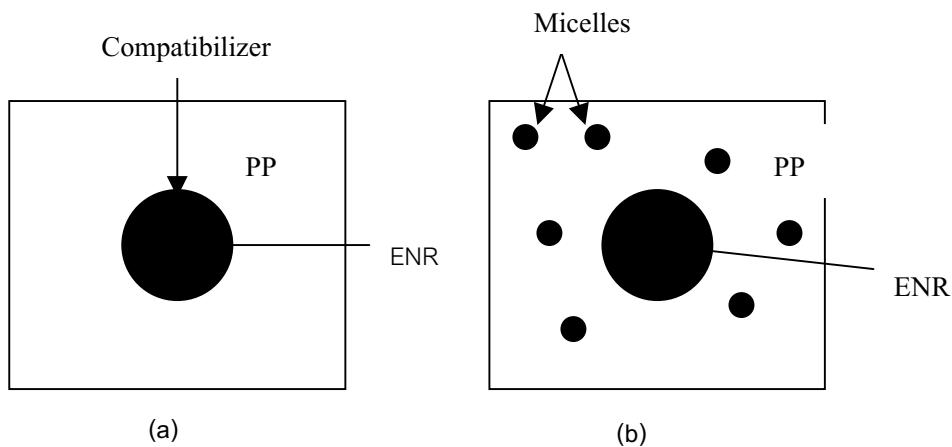
จากรูปที่ 24 และ 25 พบว่าการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยึดสูงกว่าการไม่ใช้ การใช้ Ph-PP จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยึดสูงที่สุด รองลงมาคือ PP-g-MA และ SP-1045 ตามลำดับ ทั้งนี้มีสาเหตุมา จากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของยางกับพอลิไพริฟลีน เนื่องจาก Ph-PP และ PP-g-MA มีส่วนของโมเลกุลคล้ายกับพอลิไพริฟลีนซึ่งสามารถเบนเดตเข้ากับพอลิไพริฟลีนได้ดี นอกจากนี้ Ph-PP และ PP-g-MA มีหมู่ที่มีสีภาพขึ้ว ซึ่งจะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของยางซึ่งมีสีภาพขึ้ว โดยสารเพิ่มความเข้ากันได้จะเข้าไปเป็นตัวประสานที่ผิวประจุ (interface) ของหั้งสองเฟส ทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น และเมื่อปริมาณของสารเพิ่มความเข้ากันได้เพิ่มขึ้น พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก Ph-PP และ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่เป็นพอลิเมอร์แบบกราฟต์ของพอลิไพริฟลีน ส่วนหนึ่งของโมเลกุลมีลักษณะทางเคมีเหมือนกับพอลิเมอร์หลักที่ต้องการผสม ซึ่งเป็นหมู่ที่มีสีภาพขึ้วเหมือนกับวงแหวนอิพอกไซด์ในโมเลกุลยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ดังนั้นจึงทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสองหมู่ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ เป็นการเพิ่มปริมาณโมเลกุลเป็นพอลิไพริฟลีน อาจจะทำให้สามารถเข้ากันได้กับพอลิไพริฟลีนที่ใช้เป็นพอลิเมอร์หลักในการเบนเดต ทำให้ผิวประจุของพอลิเมอร์ผสมจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของยางกับพอลิไพริฟลีน ล่งผลให้มีแรงยึดติดระหว่างโมเลกุล และเกิดการกระจายตัวของยางคอมปาวด์ในเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ส่วนมากขึ้น จึงทำให้มีความต้านทานต่อแรงดึงมากขึ้น สำหรับ SP-1045 นั้น เป็นสารวัลค่าไนซ์ ส่วนของโมเลกุลมีสีภาพขึ้วที่สามารถเข้ากับยางคอมปาวด์ได้ แต่เมื่อนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้จะเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของพอลิไพริฟลีนได้น้อยกว่า Ph-PP และ PP-g-MA ล่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ที่ได้

ต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ทั้งสองชนิด (Ph-PP และ PP-g-MA) เป็นการเพิ่มเฟสพอลิโพรไฟลีนซึ่งมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูง จึงทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โนพลาสติกวัลค่าไนซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 26 แผนภาพแสดงตำแหน่งของโคโพลิเมอร์แบบกราฟต์และบล็อกที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (Bonner and Hope, 1993)

นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ ทำให้ความสามารถในการยึดของเทอร์โนพลาสติกวัลค่าไนซ์ของยางในไตรล์และยางธรรมชาติอิพอกไซด์เบลนด์กับพอลิโพรไฟลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถึงที่ระดับประมาณ 5% ในกรณีการใช้ Ph-PP และ PP-g-MA และ 3% ในกรณีการใช้ SP-1045 หลังจากนั้นถ้าเพิ่มปริมาณมากกว่านี้ จะทำให้ความสามารถในการยึดของเทอร์โนพลาสติกวัลค่าไนซ์ลดลง นอกจากนี้การใช้ Ph-PP จะให้สมบัติการยึดที่จุดขาดดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสารเพิ่มความเข้ากันได้จะเหมาะสมที่ปริมาณหนึ่งเท่านั้น กล่าวคือในปริมาณที่เหมาะสมในการห่อหุ้มผิวที่ผิวประจัญ ซึ่งอนุภาคของยางคอมปาวด์และพอลิโพรไฟลีนยังคงแยกเฟสกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้เกินปริมาณดังกล่าว พบว่าสมบัติการยึดที่จุดขาดลดลงเนื่องจากการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ปริมาณน้อยๆ สารเพิ่มความเข้ากันได้จะไปอยู่บริเวณผิวสัมผัสของอนุภาคที่กระจายตัว (ยางกระจายตัวในพอลิโพรไฟลีน) แต่หากใช้ในปริมาณที่มากเกินไป สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่มีปริมาณเกินพองจะฟอร์มตัวเป็นไมเซลล์ (micelles) แยกออกเป็นอีกเฟสในพอลิเมอร์เบลนด์ กล่าวคือเฟสที่ 3 ดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 27 ดังนั้นจึงทำให้เกิดไมเซลล์ขนาดเล็กที่ทำหน้าที่คล้ายสารหล่อลื่น และเป็นจุดอ่อนต่อการฉีกขาดและความเสียหายอื่นๆ เมื่อได้รับแรง จึงทำให้ความสามารถในการยึดลดลง



รูปที่ 27 แสดงลักษณะการทำงานของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่เหมาะสม (a) และมากเกินไป (b) (ดัดแปลงจาก George *et al.*, 1999)

2.4 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ NBR/ENR/PP ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคานิช

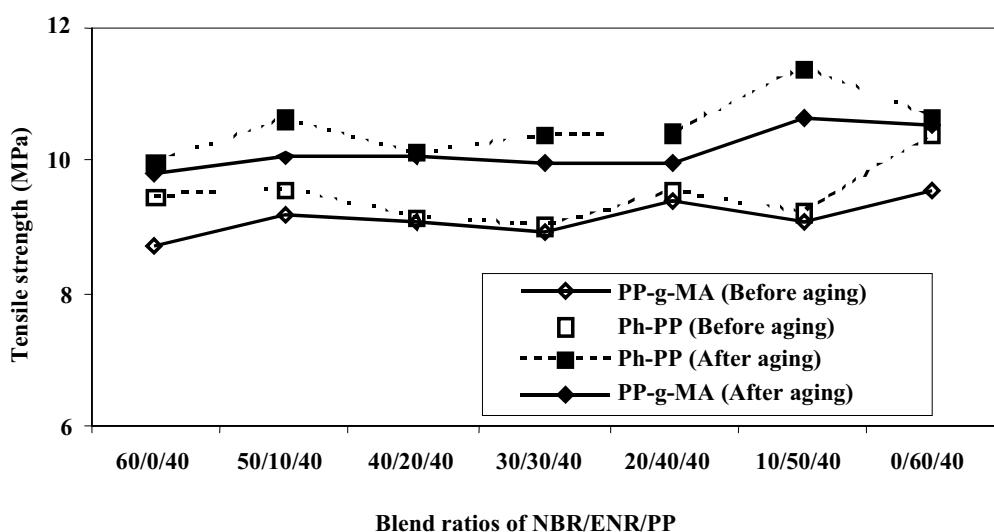
นำสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคานิชจากการเบลนด์ย่างในไตรล์ ย่างธรรมชาติอิพอกไซด์ (ENR-20) และพอลิไพริพลีน ในตารางที่ 7 สูตร E เตรียม TPVs โดยการเบลนด์ที่อัตราส่วนการเบลนด์ของ NBR/ENR/PP ต่างๆ ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องนีดพลาสติกตามหัวข้อ 1.3.8 แล้วทำการทดสอบสมบัติตามข้อ 1.3.9- 1.3.14 ได้ผลการทดลองดังนี้

2.4.1 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคานิชจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

ขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยเครื่องนีดพลาสติก แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทดสอบสมบัติตามข้อ 1.3.9 ได้ผลการทดลองดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคานิชจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP เปรียบเทียบก่อนและหลังการบ่มเร่งที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 28 ซึ่งพบว่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคานิชจากการเบลนด์ย่างในไตรล์ ย่างธรรมชาติอิพอกไซด์ และพอลิไพริพลีน ที่ใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้จะให้ค่าที่สูงกว่าการใช้ PP-g-MA ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการเชื่อมประสานของสารเคมีชนิดแรกต่อเฟสทั้งสามคือ ย่างธรรมชาติอิพอกไซด์ ย่างในไตรล์และพอลิไพริพลีน นอกจากนี้พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของย่างธรรมชาติอิพอกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบในการเบลนด์ ทั้งนี้เนื่องจากย่างธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีหมู่ อิพอกไซด์ประมาณ 20 โมเลกุลเรชีนต์ (ENR-20) สามารถเกิดผลึกได้ เมื่อยืด (Strain induced crystallization) (Davey *et al.*, 1983) ทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลคานิชมีความแข็งแรงมาก

นอกจากนี้พบว่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นหลังการบ่มเร่งมีค่าสูงกว่าก่อนบ่มเร่ง แสดงว่าการวัลค่าในชั้นของยางคอมปาวด์ เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เนื่องจากยางคอมปาวด์ยางในไตรล์และคอมปาวด์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ซึ่งมีอัตราการวัลค่าในชั้นที่แตกต่างกันโดยคอมปาวด์ยางในไตรล์ซึ่งมีระยะเวลาการวัลค่าในชั้นนานกว่าจึงส่งผลให้มีบางส่วนที่เกิดการวัลค่าในชั้นไม่สมบูรณ์ เมื่อได้รับการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อนจึงทำให้ส่วนที่ยังวัลค่าในชั้นไม่สมบูรณ์สามารถเกิดการวัลค่าในชั้นได้ต่อ ทำให้ระดับหรือปริมาณพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลยางเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นหลังการบ่มเร่งมีค่าสูงกว่าก่อนการบ่มเร่ง

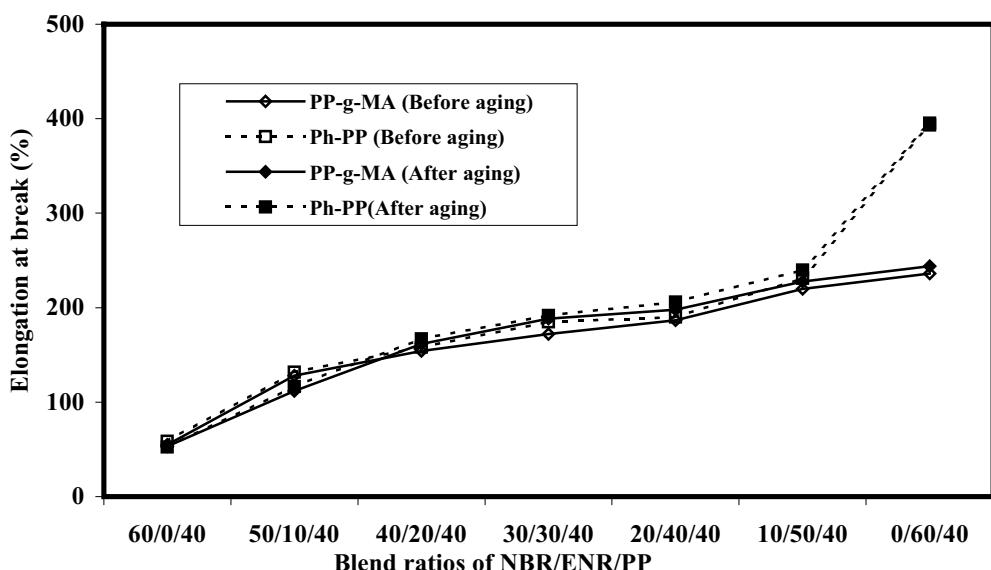
นอกจากนี้ยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นที่ใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าการใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง แสดงว่า Ph-PP น่าจะ เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นระหว่างยางในไตรล์ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และพอลิไพริพลีน



รูปที่ 28 ความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่าง ๆ

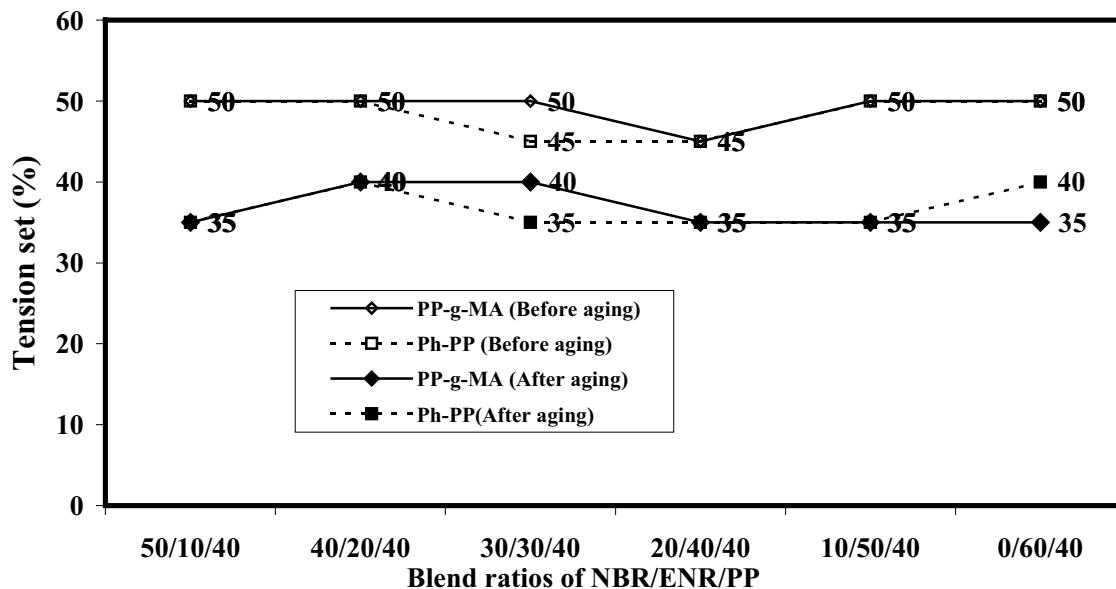
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการยึดของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่าง ๆ เปรียบเทียบก่อนและหลังการบ่มเร่ง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 29 พบว่าค่าความสามารถในการยึดของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติอิพอกไซด์หรือการลดสัดส่วนของยางในไตรล์ในการเบลนด์ เนื่องจากยางในไตรล์ไม่สามารถเกิดผลลัพธ์ได้เมื่อยึด และมีความสามารถในการยึดต่ำกว่าเนื่องจากสภาพการขาดตัวของโมเลกุลที่ด้อยกว่าเนื่องจากการมีหมู่แทนที่ขนาดใหญ่กว่า (หมู่ไซยาโน) (Nagdi, 1993) ทำให้มีความสามารถในการยึดต่ำกว่ายางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีหมู่อิพอกไซด์ประมาณ 20

โนโลเกอร์เซ็นต์ ทำให้ยางธรรมชาติอิพอกไซด์มีความสามารถในการยึดสูงกว่ายางในไตรล์ ดังนั้น เทอร์โนพลาสติกวัลค่าในช้าจากการเบลนด์ยางในไตรล์ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และพอลิไพริพลีน จึงมีความสามารถในการยึดสูงขึ้นตามการเพิ่มสัดส่วนของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ นอกจากนี้ยัง พบว่าเทอร์โนพลาสติกวัลค่าในช้าที่ใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้จะให้ความสามารถในการยึดสูงกว่าการใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ และสมบัติความสามารถในการยึดหลัง การบ่มเร่งมีค่าไคลส์เคียงกับก่อนการบ่มเร่ง แสดงว่าการใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ทำให้ เพสต่างๆ เข้ากันได้ดีกว่า



รูปที่ 29 ความสามารถในการยึดของเทอร์โนพลาสติกวัลค่าในช้าจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ที่ อัตราส่วนการเบลนด์ต่าง ๆ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการคืนตัว (Tensilon set) ของเทอร์โนพลาสติกวัลค่าในช้าจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่าง ๆ เปรียบเทียบก่อนและหลัง การบ่มเร่ง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 30 พบว่าความสามารถในการคืนตัวของเทอร์โนพลาสติกวัลค่าในช้าจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่าง ๆ มีค่าไคลส์เคียงกัน และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติอิพอกไซด์ นอกจากนี้พบว่าการใช้ Ph-PP จะให้ค่าที่ต่ำกว่าการใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ และแสดงว่าการใช้ Ph-PP ให้เทอร์โนพลาสติกวัลคาร์ในช้าที่มีสมบัติเป็นอิล่าส์โトイเมอร์ดีกว่า เนื่องจาก Coran (2003) ระบุว่าเทอร์โนพลาสติกวัลคาร์ ที่มีค่า Tension set น้อยกว่า 50 % จะมีคุณสมบัติเป็นยางที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิการใช้งาน และการลดลงของค่าการคืนตัวจะเป็นการเพิ่มสมบัติความเป็นยางของ TPVs และแสดงว่าเทอร์โนพลาสติกวัลค่าในช้าที่เตรียมได้มีคุณสมบัติการเป็นยางดี และพบว่าหลังจากการบ่มเร่งด้วยอาการร้อนเทอร์โนพลาสติกวัลค่าในช้าจะมีความสามารถในการคืนตัวดีขึ้นเนื่องจากภายในไม้เลกุล้มีการเชื่อมโยงมากขึ้น



รูปที่ 30 ความสามารถในการคืนตัวของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบلنด์ต่างๆ

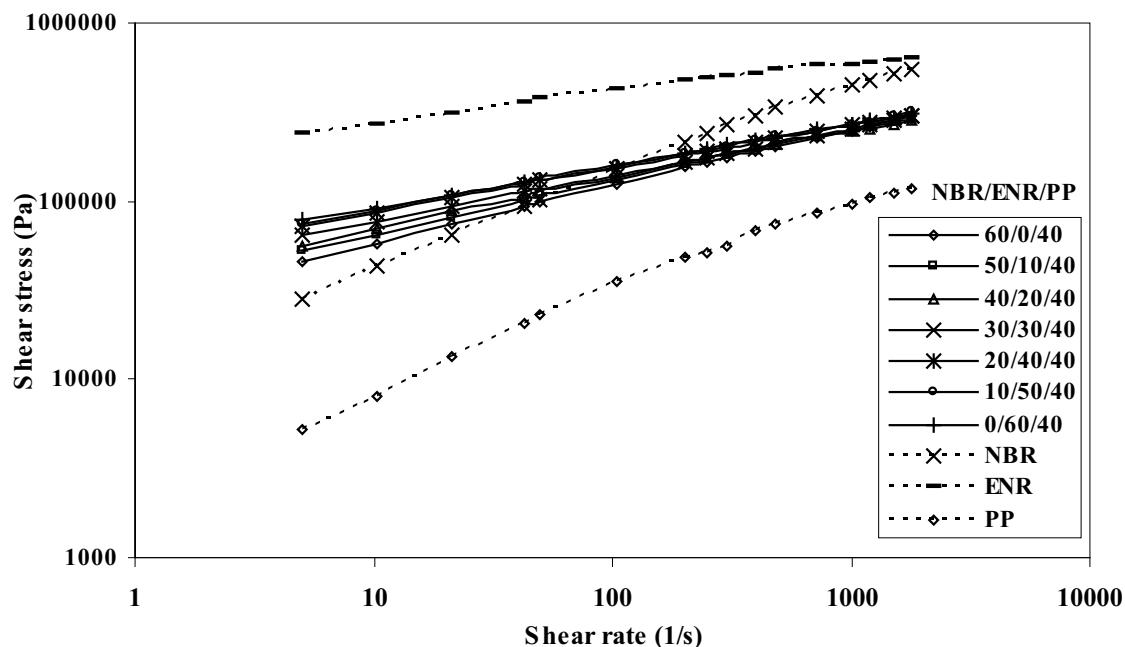
2.4.2 สมบัติทางรีโอลายีของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบلنด์ต่างๆ

ทำการทดสอบสมบัติทางรีโอลายีของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้น ด้วยเครื่องรีโอลิมิเตอร์แบบคาปิลารี ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และตั้งค่าอัตราการเฉือนในช่วง $5 - 1780 \text{ s}^{-1}$ โดยใช้ดယที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความยาว 32 มิลลิเมตร และมุนไหลเข้า 90 องศา ทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางรีโอลายีของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นที่เตรียมจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบلنด์ต่างๆ ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) กับความเค้นเฉือน (shear stress) และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือน (shear rate) กับความหนืดเฉือน (shear viscosity) ได้ผลการทดลองดังนี้

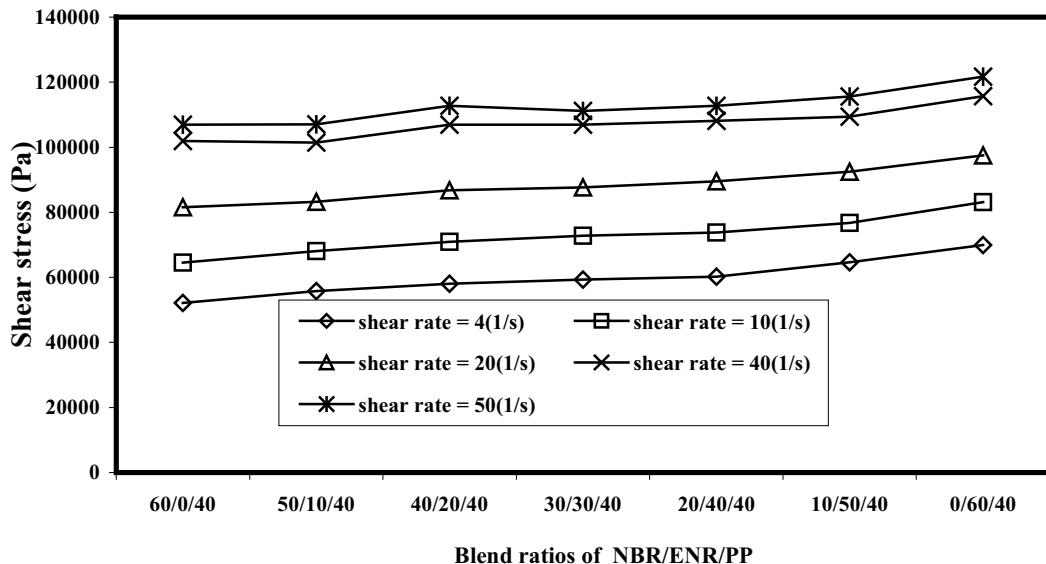
2.4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือนกับความเค้นเฉือน (เส้นโค้งการไหล)

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนที่อัตราการเฉือนต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนการเบلنด์ต่างๆ ได้ผลแสดงดังกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของการไหลของ TPVs ที่เตรียมจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 31 พบว่าเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ค่าความเค้นเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นจะเพิ่มขึ้น เพื่อความชัดเจนในการวิเคราะห์สมบัติจึงเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเบلنด์กับความเค้นเฉือน ที่อัตราเฉือนคงที่ ที่ $4-50 \text{ s}^{-1}$ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 32 จากพบว่าค่าความเค้นเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าในชั้นจะมีค่า

เพิ่มขึ้นตามปริมาณของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ทั้งในกรณีที่ใช้ Ph-PP และ PP-g-MA (ไม่ได้แสดงผลเป็นกราฟในที่นี้) เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ เนื่องจากยางธรรมชาติอิพอกไซด์คิบมีค่าความหนืดเริ่มต้นสูงกว่ายางในไตรล์ เมื่อปริมาณยางธรรมชาติอิพอกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของยางในไตรล์ลดลง เนื่องจากในการทดลองนี้คงอัตราส่วนของยาง/พลาสติกไว้ที่ 60/40 ทุกชุดการทดลอง ดังนั้นจึงทำให้ค่าความเก้นเฉือนสูงขึ้น นอกจากนี้อาจจะเนื่องมาจากการเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างเฟสต่างๆ ที่นำมาเบลนด์จากการเพิ่มปริมาณยางในพอลิเมอร์เบลนด์



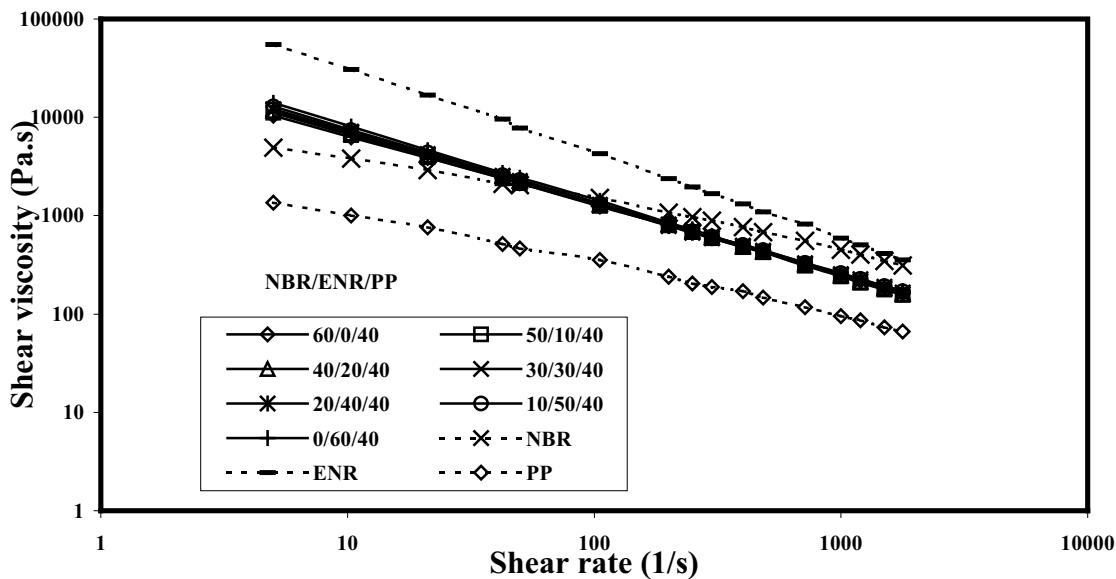
รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเก้นเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลภาในซึ่ที่เตรียมจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP เมื่อใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้



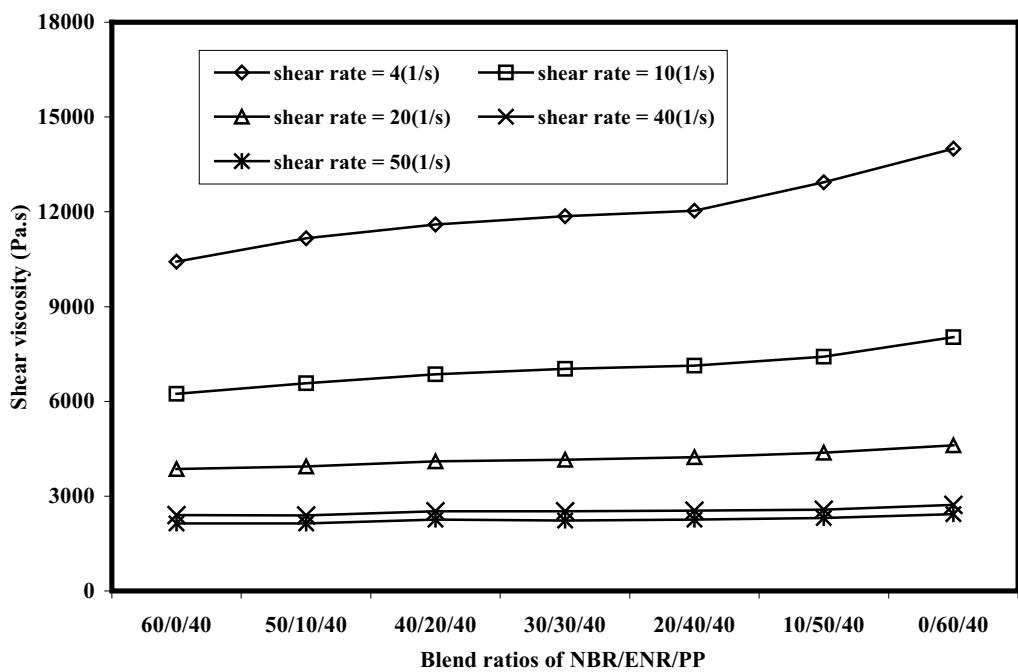
รูปที่ 32 เปรียบเทียบความเค้นเฉือนกับอัตราส่วนการเบلنด์ของเทอร์โนมพลาสติกวัลค่าในชีทที่เตรียมจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราเฉือนต่างๆ เมื่อใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้

2.4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือนกับความหนืดเฉือน (สัมประสิทธิ์ความหนืด)

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบค่าความหนืดเฉือนที่อัตราการเฉือนต่างๆ ของเทอร์โนมพลาสติกวัลค่าในชีทระหว่างยางในไตรล์ ยางธรรมชาติอิพอก ไซด์และพอลิไพร ไพลิน ที่อัตราส่วนการเบلنด์ต่างๆ ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนกับอัตราเฉือนของการไหลของ TPVs ที่เตรียมจากการเบلنด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 33 พบว่า เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดเฉือนของเทอร์โนมพลาสติกวัลค่าในชีทจะมีแนวโน้มลดลง กล่าวคือมีพฤติกรรมแบบ Shear thinning behaviour เพื่อความชัดเจนในการวิเคราะห์สมบัติจึงเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเบلنด์กับความหนืดเฉือน ที่อัตราเฉือนคงที่ ที่ $4-50 \text{ s}^{-1}$ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 34



รูปที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราเฉือนต่างๆ เมื่อใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้



รูปที่ 34 เปรียบเทียบความหนืดเฉือนกับอัตราส่วนการเบลนด์ของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NBR/ENR/PP ที่อัตราเฉือนต่างๆ เมื่อใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้
จากรูปที่ 34 พบว่าค่าความหนืดเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลค่าไนซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ในทำนองเดียวกับความเค้นเฉือนในรูปที่ 33 ซึ่งสามารถอธิบายโดยใช้เหตุผลเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของค่าความเค้นเฉือน